

# Kaffesump som substrat i biogasanläggningar eller som bränsle i fjärrvärmeverk – en studie av effekter på växthusgasutsläpp och kostnader

*Ground coffee waste as substrate for biogas or as fuel in  
a heating plant  
– a study of effects on greenhouse gas emissions and economical  
costs*

Erik Fors



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

Erik Fors

Kaffesump som substrat i biogasanläggningar eller som bränsle i fjärrvärmeverk – en studie av effekter på växthusgasutsläpp och kostnader  
Ground coffee waste as substrate for biogas or as fuel in a heating plant – a study of effects on greenhouse gas emissions and economical costs

Handledare: Kjell Wåhlgren, Coor Service Management AB  
Ämnesgranskare: Serina Ahlgren, institutionen för energi och teknik, SLU  
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad nivå, A2E, teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2013:11

Uppsala 2013

Nyckelord: kaffesump, biogas, förbränning, transporter, koldioxidutsläpp, ekonomiska kostnader

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>



## Executive summary

Each year, the coffee machines at Ericsson in Kista produce around 100 tons of ground coffee waste. The companies Coor Service Management, Löffbergs Lila and Selecta are all responsible for different stages in the logistical chain in delivering coffee and, together with Ericsson, they want to increase their environmental benefit.

The plan is to produce biogas through anaerobic digestion instead of incinerating the coffee waste in a heating plant. The results are to be presented as different business cases, comparing different biogas plants with the reference case (heating plant), and impacts on costs and environmental benefits.

After laboratory work and calculations, it was determined that 100 tons coffee waste could produce around 16 500 Nm<sup>3</sup> biogas which, after deducting costs for upgrading and heating the reactor, would contain 149 MWh. The biogas could replace 15,1 m<sup>3</sup> diesel, which would reduce the carbon dioxide emissions by 43 tons. The exergy content in the biogas is also 50 % higher than in the heat produced today.

The increased transports will result in increased carbon dioxide emissions by 2 ton for the Henriksdal case, and by 4 ton for the Uppsala and Himmerfjärds cases. Returning digestate from the plants will result in a reduction of 3 ton CO<sub>2</sub> emissions.

The result from combining laboratory work, simulations and calculations show that the case where Henriksdal receives the coffee waste will reduce carbon dioxide emissions by 15,1 ton at a cost of 72 000 kr per year. The case with the Himmerfjärd plant will reduce emissions by 13,8 ton at a cost of 74 000 kr per year. The final case with Uppsala biogas plant will reduce emissions by 13,7 ton at the cost of 107 000 kr per year. And thus there are environmental benefits from producing biogas from the coffee waste, but they do come at a cost.

## Abstract

Each year, the coffee machines at Ericsson in Kista produce around 100 tons of ground coffee waste. The companies Coor Service Management, Löfbergs Lila and Selecta are all responsible for different stages in the logistical chain in delivering coffee and, together with Ericsson, they want to increase their environmental benefit. The plan is to produce biogas through anaerobic digestion instead of incinerating the coffee waste in a heating plant. The results are to be presented as different business cases in which different biogas plants are compared with the reference case (heating plant), comparing costs and environmental impacts.

There are two major environmental benefits from producing biogas; reduced carbon dioxide emissions from when fossil fuel is replaced by carbon neutral biogas, and reduced emissions from returning digestate from the bio reactor to farmland instead of using industrial fertilizer.

In order to determine the biogas potential in coffee waste, a couple of properties had to be determined in a laboratory. Properties such as the dry substance content, heating value, moisture content and ash content. The results show that 100 tons coffee waste could produce around 16 500 Nm<sup>3</sup> biogas which would contain 163 MWh.

The biogas reactor and upgrade plant both need energy gas to function and uses around 14 MWh of the produced gas. In the end, the resulting upgraded biogas contains 149 MWh energy. Such an amount of gas can replace 15,1 m<sup>3</sup> of diesel and thus reduce carbon dioxide emissions by 39,4 ton. The emissions from running the reactor and upgrade plant, combined with methane leakage amounts to 4,8 ton carbon dioxide.

All of the biogas plants that were examined returns digestate and nutrients to farmlands which reduces the need for industrial fertilizer. The production of fertilizer uses a lot of energy, and by returning digestate a reduction of 58 GJ energy and 3 ton CO<sub>2</sub> can be achieved. This is not the case with the heat plant which instead has to place some of its produced ashes in landfills.

If the exergy content in the biogas is compared to that of the heat it shows that there is a point to making gas instead of incinerating the waste. The biogas has about 50 % higher exergy content than the heat has and therefore it is possible to utilize the substrate more efficiently.

Transporting coffee waste from Ericsson to different biogas plants will result in increased carbon dioxide emissions. The three plants investigated in this thesis are Henriksdals sewage treatment plant, the Himmerfjärd plant and Uppsala biogas plant. For each plant, driving distance, pre treatment requirements of the coffee waste, and related costs were determined. Using methods from the Network for transportation and environment, the emissions for each case were calculated. The results show that the Henriksdal case will increase carbon dioxide emissions by two tons per year, and the other cases will increase emissions by four tons.

The result from combining laboratory work, simulations and calculations show that the case where Henriksdal receives the coffee waste will reduce carbon dioxide emissions by 15,1 ton at a cost of 72 000 kr per year. The case with the Himmerfjärd plant will reduce emissions by 13,8 ton at a cost of 74 000 kr per year. The final case with Uppsala biogas plant will reduce emissions by 13,7 ton at the cost of 107 000 kr per year. And thus there are environmental benefits from producing biogas from the coffee waste, but they do come at a cost.

## Sammanfattning

Varje år produceras runt 100 ton kaffesump från kaffeautomaterna i Ericssons kontor i Kista. Idag skickas kaffesumpen till förbränning i Uppsala fjärrvärmeverk. Företagen Coor Service Management, Löfbergs Lila och Selecta är ansvariga för olika steg i leveransen av kaffe, och tillsammans med Ericsson ser de möjligheten att öka sin miljönytta genom att producera biogas från kaffesumpen. Föreliggande rapport är en utredning av möjligheten att utnyttja kaffesump som substrat för biogasproduktion och ifall det innebär ökad miljönytta.

Målet med denna rapport var att undersöka ifall det finns någon miljönytta i att göra biogas av kaffesumpen istället för att förbränna sumpen i ett fjärrvärmeverk. Resultaten ska sedan presenteras som olika fall där olika biogasanläggningar jämförs med referensfallet (Uppsala fjärrvärmeverk), och kostnader och miljönyttor jämförs.

För att uppnå målsättningen behövde flera egenskaper hos kaffesump bestämmas, och olika biogasanläggningar undersökas. I referensfallet förbränns kaffesumpen i en fjärrvärmepanna. Om kaffesumpen istället skickas till en biogasanläggning kommer ett ersättningsbränsle behövas i fjärrvärmeverket – så kallat marginalbränsle. Olika bränslen har olika stor inverkan på resultatet och därför behövde det avgöras vilket bränsle som utgör marginalbränslet i Uppsala fjärrvärmeverk. Det kan dessutom uppstå situationer då endast torv utgör marginalbränsle, vilket innebär stora förändringar i resultatet. Som känslighetsanalys undersöktes därför vilka konsekvenser det får att byta bränsle i fjärrvärmeverket, från den nuvarande bränslemixen till torv.

Det finns två stora miljövinster med biogas; minskade koldioxidutsläpp när biogasen ersätter fossil diesel och minskade utsläpp av växthusgaser då rötresten ersätter handelsgödsel. För att avgöra miljönyttan av att göra biogas av kaffesump undersöktes biogaspotentialen hos kaffesump laborativt. I laborationerna bestämdes egenskaper som torrsustanshalt, fukthalt och askhalt, samt kaffesumpens värmevärde.

Resultaten från laborationerna visar att 100 ton kaffesump skulle ge upphov till runt 16 500 Nm<sup>3</sup> biogas, med energiinnehållet 163 MWh. Biogasreaktorn och uppgraderingsanläggningen kräver energi från den uppgraderade gasen motsvarande 14 MWh, vilket innebär att den fordonsgas som slutligen säljs innehåller 149 MWh energi. En sådan mängd biogas kan ersätta 15,1 m<sup>3</sup> diesel vilket innebär att koldioxidutsläppen minskar med 39,4 ton. Utsläpp för energianvändningen från biogasreaktorn och uppgraderingsanläggningen tillsammans med metanläckage uppgår till 4,8 ton CO<sub>2</sub>-ekv.

Samtliga undersökta biogasanläggningar återför rötresterna och dess näringsämnen till jordbruket vilket minskar behovet av att producera handelsgödsel. Produktionen av handelsgödsel är energikrävande och näringsåterförslin innebär en energibesparing på 58 GJ och reducerade växthusgasutsläpp med 3 ton koldioxidekvivalenter. Om sumpen istället förbränns så behöver delar av askan deponeras som farligt avfall, medan andra delar används som utfyllnadsmaterial. Därmed återförs inga näringsämnen till jordbruket.

Jämförs exergiinnehållet i fjärrvärmen med biogasen så visar resultatet att det finns en nytta i att producera biogas istället för att förbränna sumpen. Biogasen har ett runt 50 % högre exergiinnehåll än fjärrvärmen och det är därför möjligt att utföra ett större arbete med biogas än med fjärrvärme - substratet utnyttjas på ett mer optimalt sätt.

Transporterna av kaffesumpen från Ericsson till olika anläggningar innebär ökade koldioxidutsläpp. I rapporten undersöktes tre anläggningar; Henriksdals reningsverk, Himmerfjärdsverket och Uppsala biogasanläggning. De undersöktes med avseende på körsträckor, kostnader och krav på hur kaffesumpen ska förbehandlas och transporteras. Med Nätverket för transport och miljö's metoder för utsläpp beräknades hur mycket koldioxidutsläppen ökade för varje anläggning. Resultaten visar att fallen med Uppsala biogasanläggning och Himmerfjärdsverket båda innebär en ökning av transportrelaterade utsläpp med närmare fyra ton CO<sub>2</sub> per år, medan fallet Henriksdal innebär en ökning med drygt två ton CO<sub>2</sub> per år.

Som marginalbränsle använder Uppsala fjärrvärmeverk en bränslemix bestående av runt 75 % förnyelsebart och 25 % fossilt bränsle. Sett över de senaste fem åren har marginalbränslet haft en genomsnittlig emissionsfaktor på 59,8 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh.

Utifrån laborationerna, simuleringarna och beräkningarna framkom resultatet att i fallet där Henriksdals reningsverk tar emot kaffesumpen så kommer koldioxidutsläppen minska med 15,1 ton till en kostnad på 72 000 kr per år. Fallet bygger dock på att en avfallskvarn installeras till en kostnad på 300 000 kr, fördelat över 20 år. Fallet med Himmerfjärdsverket resulterar i en CO<sub>2</sub>-emissionsminskning på 13,8 ton till en kostnad av 74 000 kr per år. Det tredje fallet – Uppsala biogasanläggning – kommer minska koldioxidutsläppen med 13,7 ton till en kostnad av 107 000 kr per år.

Känslighetsanalysen visade att valet av marginalbränsle i fjärrvärmeverket har stor inverkan på resultatet. För fallet med Henriksdals reningsverk så ökar koldioxidutsläppen med 97 ton CO<sub>2</sub>-ekv om torv utgör marginalbränsle. För fallen med Himmerfjärdsverket och Uppsala biogasanläggning ökar utsläppen med 98 ton CO<sub>2</sub>-ekv, vilket medför att all miljönytta med projektet försvinner om endast torv utgör marginalbränsle.

Sammanfattningsvis kan det sägas att det finns det en tydlig miljönytta med att producera biogas från kaffesumpen istället för att förbränna den. Alla alternativ kommer dock innebära en ökad kostnad och det uppvisas att det inte är lätt att kombinera miljönytta med ekonomi.



## Innehåll

<b>1 Inledning</b>	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar och antaganden	2
<b>2 Teori</b>	3
2.1 Värmevärde	3
2.2 Fukthalt	3
2.3 Torrsubstans, TS	3
2.4 Glödförlust eller Volatile solids, VS	4
2.5 Biogas motsvarande antal bilar per år	4
<b>3 Metod</b>	4
3.1 Laborativa försök	4
3.2 Metod för beräkning av miljöpåverkan	7
<b>4 Beskrivning av studerade fall</b>	11
4.1 Nuläget – Uppsala fjärrvärmeverk	11
4.2 Henriksdals avloppreningsverk	12
4.3 Himmerfjärdsverket	13
4.4 Uppsala biogasanläggning	13
4.5 Strukna anläggningar	14
4.6 Transporter	14
<b>5 Resultat</b>	16
5.1 Laborativa försök	16
5.2 Beräkning	16
5.3 Simulering	17
5.4 Olika fall	17
<b>6 Diskussion</b>	20
6.1 Känslighetsanalys – torv som marginalbränsle	20
6.2 Osäkerheter	21
6.3 Förslag till framtida studier	21
<b>7 Slutsats</b>	23
<b>8 Referenser/Källor</b>	25

<b>Bilagor .....</b>	<b>29</b>
Bilaga 1 Övriga definitioner .....	29
Bilaga 1.1 Biogas- och metanutbyte .....	29
Bilaga 1.2 Askhalt.....	29
Bilaga 1.3 Exergi.....	29
Bilaga 2 Laborationer.....	30
Bilaga 2.1 Fukthalt och TS-halt .....	30
Bilaga 2.2 Biogaspotentialen hos kaffesumpen.....	31
Bilaga 2.3 Lagring en vecka.....	32
Bilaga 3 Beräkningar .....	33
Bilaga 3.1 Kalorimetriskt värmevärde .....	33
Bilaga 3.2 Värmemängd och exergiinnehåll .....	34
Bilaga 3.3 VS-halt i kaffesump .....	34
Bilaga 3.4 De olika fallen.....	35
Bilaga 3.5 Återförsel av rötresten .....	36
Bilaga 4 MATLAB.....	37
Bilaga 4.1 Henriksdals kod .....	37
Bilaga 4.2 Körexempel för Henriksdal .....	38
Bilaga 4.3 Kod för Himmerfjärdsverket .....	39
Bilaga 4.4 Körexempel för Himmerfjärdsverket.....	40
Bilaga 4.5 Kod för Uppsala.....	41
Bilaga 4.6 Körexempel för Uppsala .....	42
Bilaga 5 Transporter enligt NTM.....	43
Emissioner .....	43
Energianvändning.....	43
Emissioner .....	43
Energianvändning.....	44

## Förord

Förliggande rapport är ett examensarbete på masternivå utfört vid institutionen för energi och teknik vid Sveriges lantbruksuniversitet, och Uppsala universitet. Examensarbetet utfördes mellan oktober 2012 och maj 2013. Examensarbetet har utförts i samarbete med Institutionen för Energi och Teknik på SLU i Uppsala, Coor Service Management, Löfbergs Lila, Selecta och Ericsson.

Tack till

Examinator Åke Nordberg och ämnesgranskare Serina Ahlgren från SLU för deras synpunkter och feedback under arbetets gång.

Anders Eriksson och Erik Anerud på SLU för hjälp med laborationer, formalia i rapportskrivandet och uppmuntrande kommentarer.

Kjell Wåhlgren och Johanna Andersson som båda agerat handledare under arbetets gång.

Henrik Ax på Selecta i Uppsala som försedde med närproducerad kaffesump.

Anna Karlsson från Vattenfall värme i Uppsala för hjälp förbränningsdelen av denna rapport.

Uppsala juni 2013

Erik Fors

## Förkortningar

AC – Ash Content

CO<sub>2</sub>-ekv – Koldioxidekvivalenter

HHV – High Heating Value

LHV – Low Heating Value

MC – Moisture Content

NTM – Nätverket för Transport och Miljö

SLU – Sveriges lantbruksuniversitet

TS – Torrsubstans

VS – Volatile solids

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Ericsson i Kista är storkonsument av kaffe – varje år produceras över 100 ton kaffesump från kaffeautomaterna. Företagen Coor Service Management, Löfbergs Lila och Selecta är ansvariga för olika steg i leveransen av kaffe, och tillsammans med Ericsson ser de möjligheten att öka sin miljönytta genom att förbättra avfallshanteringen av kaffesumpen. Eventuella positiva eller negativa konsekvenser av att byta avfallshantering är anledningen till denna rapport.

De inblandade företagen arbetar med hållbarhetsfrågor och strävar efter att följa reglerna för kravmärkning och Fair trade, där ett viktigt mål är att minimera belastningen på miljön (Djurdjevic & Axelsson, 2008, Marcus, 2012). För Löfbergs lilas kaffe gäller att 85 – 90 % av miljöpåverkan kommer från den odling, behandling och transport som sker innan kaffet når Sverige. Övriga 10 – 15 % kan dock de inblandade företagen påverka och målet är att minimera utsläppen (Löfbergs Lila, 2013, Marcus, 2012). Löfbergs lila har satt som långsiktigt mål att de vid år 2020 ska ha minskat sina koldioxidutsläpp med 40 % från 2005 års nivå för verksamheten i Sverige (Löfbergs Lila, 2013). Istället för att transportera kaffesumpen till Uppsala för förbränning i ett fjärrvärmeverk, finns planer på att skicka sumpen till någon av de närliggande biogasanläggningarna för rötning och biogasproduktion.

Biogas är ett förnyelsebart bränsle vars användning leder till reducerade utsläpp av växthusgaser när fossila bränslen ersätts och då rötresterna återförs till jordbruksmark (Lantz et al 2006).

Biogasanvändning uppnår störst miljönytta när biogasen ersätter bensin eller diesel. Detta för att biogasanvändning, förutom att reducera utsläppen av koldioxid, minskar utsläppen av andra föroreningar som kolväten, NO<sub>x</sub> och partiklar (Berglund & Börjesson, 2003).

Processen för att röta ett substrat och producera biogas bygger på termofil eller mesofil anaerob nedbrytning. Nedbrytningen medför, förutom biogas, att rötresterna kan användas som gödningsmedel. Ämnen som kväve, fosfor och kalium finns kvar i biogasreaktorn i växttillgängliga former och kan tas till vara på och återföras till lantbruket. Om så sker, minskar behovet av att producera handelsgödsel, vilket är energikrävande att producera och medför ökade utsläpp av växthusgaser (Berglund & Börjesson, 2003).

Aska från förbränning av kaffesumpen kan i vissa fall återföras till skogs- eller åkermark, men vid förbränning försvinner flyktiga näringsämnen som kväve och kol. I andra anläggningar innehåller askan skadliga ämnen och därför återförs inga näringsämnen alls (Vattenfall Värme Uppsala, 2012).

Försök med kaffesump som biogassubstrat har gjorts tidigare. I universitetet i Glamorgan testades år 1994 termofil och mesofil rötning av kaffesump. Försöken visade att kaffesump har ett högt lipidinnehåll och lågt hemicellulosa-, lignin-, protein-, och askinnehåll. Vidare kunde en reduktion på 58 % av VS skådas i både de mesofila och termofila försöken. Slutsatsen från försöken var att anaerobisk nedbrytning av kaffesump är fullt möjligt men att långvarig stabilitet kan vara ett problem (Dinsdale et al, 1995).

Ett annat försök med kaffesump gjordes genom ett samarbete mellan universitet i Indien, Brasilien, Nordirland och Frankrike. Där undersöktes möjligheten att ta ut mervärden från restprodukter från bland annat kaffe. Processer har utvecklats för utnyttja restprodukter som råmaterial för produktion

av etanol, protein, enzymer, syror och biogas. Undersökningen visar att det finns ämnen i kaffe som påverkar nedbrytningsprocessen negativt, exempelvis koffein, och ifall dessa ämnen kan tas bort eller minskas så skulle biogasprocessen fungera effektivare. Slutsatsen från undersökningen visar att även om en del kemiska och fysiska metoder för att avlägsna koffein var framgångsrika så var de också så kostsamma att de ej lönar sig (Pandey et al, 2000; Kondamudi et al, 2008).

Ur miljösynpunkt kan produktion och användning av biogas leda till stora vinster. Biogas från avfall och restprodukter, i synnerhet gödsel, ger till exempel mycket låga utsläpp av växthusgaser (Lantz, 2013). En potentiell utbyggnad av biogassystem i Sverige påverkas av olika faktorer som energitillgång, miljömål, hållbarhetsfrågor med mera. EU har satt som mål att unionen ska använda minst 20 % förnyelsebar energi, och åtminstone 10 % av det sålda fordonsbränslet skulle vara biobränsle år 2020. EU har också en strategi för att säkerställa sitt energibehov som trycker på behovet av ökad bioenergiproduktion (Regeringskansliet, 2012).

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att undersöka om det finns någon miljönytta i att göra biogas av kaffesump istället för att förbränna sumpen, samt vilka kostnader som bytet är förknippade med. Ett antal olika biogasanläggningar finns att undersöka och varje anläggning innebär olika påverkan på miljö och ekonomi. För att analysera de olika fallen ska laborativa försök göras på sumpen, olika logistiska alternativ jämföras, beräkning av växthusgaser och ekonomisk kalkyl utföras. De olika fallen vägs sedan mot varandra för att hitta den bästa metoden för att hantera kaffesumpen, både ur ett klimatmässigt och ekonomiskt perspektiv. Det slutliga målet med rapporten är att presentera olika fall där de olika för- och nackdelarna kan redovisas.

## 1.3 Frågeställningar

Rapportens huvudsakliga frågeställning är ifall det finns någon miljönytta i att göra biogas av kaffesumpen istället för att förbränna den. Om svaret är ja blir följdfrågan ifall det är ekonomiskt lönsamt eller försvarbart att röta istället för att förbränna. För att uppnå syftet och svara på frågeställningen behöver ett antal underfrågor besvaras:

- Vilken värmemängd som förbränning av sumpen ger upphov till. Behandlas i stycke 3.1.1.
- Vilken biogaspotential som finns i kaffesumpen. Behandlas i stycke 3.2.1.
- Vilket alternativ som ger störst miljönytta, eller minst utsläpp av koldioxid. Behandlas i avsnitt 5.4 och vidare i kapitel 6.
- Vilka ytterligare ekonomiska kostnader som varje scenario innebär. Behandlas i avsnitt 5.4.
- En diskussion om vilka förändringar som behövs göras i Ericssons anläggning samt Stockholm stads reaktion på delar av soporna försvinner. Behandlas i kapitel 6.

## 1.4 Avgränsningar och antaganden

Ericssons kontor i Kista innehåller restauranger som producerar annat komposterbart avfall än kaffesump. Denna rapport tar endast hänsyn till kaffesumpen från Ericsson. Övriga biologiska restprodukter undersöks ej.

Mängden kaffesump varierar varje år, men ett rimligt värde är 100 ton. I denna rapport antas det därför att det under ett år på Ericsson i Kista produceras 100 ton kaffesump samt att sumpen produceras jämnt fördelat över årets alla dagar, 274 kg om dagen.

All sump hämtas från en punkt, även om det i verkligheten handlar om flera soprum. Punkten är besöksadressen Torshamnsgatan 23. Lastbilarna går från Ericsson i Kista till biogasanläggningarna och sedan tillbaka, inte via en transportpool.

Flera olika reningsverk och biogasproducerande anläggningar undersöktes som potentiella mottagare av kaffesumpen. De finns anläggningar som kan ta emot kaffesumpen men vill lägga den på kompost istället för att göra biogas. Eftersom frågeställningen fokuserade på biogas förbisågs de anläggningarna.

Denna rapport fokuserar endast på koldioxidutsläpp. I de fall där det sker utsläpp av  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , metangas eller andra växthusgaser räknas utsläppen om till koldioxidekvivalenter.

Stockholm stad äger de sopor som hämtas från Ericsson och måste godkänna ifall sumpen ska transporteras någon annanstans. I rapporten antas att Stockholm stad godkänner de olika alternativen.

## 2 Teori

### 2.1 Värmevärde

Värmevärdet för ett ämne är ett mått på den energi som frigörs vid fullständig förbränning per massenhet av ämnet. Vidare kan värmevärdet delas upp i två olika delar; Det kalorimetriska och det effektiva värmevärdet (Alvarez, 2010).

Det **kalorimetriska värmevärdet** beskriver energiinnehållet för ett ämne då fuktinnehållet dunstats bort vid 105 °C. Definitionen för kalorimetriskt värmevärde är *den värmemängd som, per mängdenhet av bränsle, utvecklas då allt det från bränslet härrörande vattnet befinner sig i vätskeform*. I rapporten används benämningen HHV, från engelskans *Higher Heating Value* (Alvarez, 2010).

Ett bränsles **effektiva värmevärde** definieras som *den värmemängd som, per mängdenhet av bränslet, utvecklas då allt det från bränslets härrörande vattnet befinner sig i ångform* (Alvarez, 2010). I rapporten används benämningen LHV, från engelskans *Lower Heating Value*.

### 2.2 Fukthalt

Fukthalten i ett bränsle definieras som vatteninnehållets procentuella andel av det fuktiga bränslet (Lehtikangas, 1999) och är viktig att känna till för att avgöra hur mycket värmevärdet påverkas (Sokhansanj, 2011).

Enhet [%]

### 2.3 Torrsubstans, TS

Torrsubstansen, härmed benämnd TS, anger ett materials kvarvarande innehåll då innehållet fått avdunsta i 105 °C under 24 timmar. (Carlsson & Uldal, 2009).

Enhet [g] för TS och [%] för TS-halt.

## 2.4 Glödförlust eller Volatile solids, VS

Glödförlust anger ett materials innehåll av brännbar substans vid 550 °C, och används för att beräkna ett substrats organiska innehåll (Carlsson & Uldal, 2009). I denna rapport används den engelska termen *Volatile solids* eller *VS*.

Enhet [%] och [% av TS]

## 2.5 Biogas motsvarande antal bilar per år

I resultaten redovisas förutom volymen producerad biogas även vad det motsvarar i bilar per år. Detta är för att få en överskådlig bild av hur mycket biogas det handlar om. En bil antas köra 2500 mil på ett år och dra 7 Nm<sup>3</sup> om dagen. Se stycke 5.2.6.

## 3 Metod

För att svara på studiens syfte, mål och frågeställning måste inledningsvis kaffesumpens egenskaper bestämmas, med fokus på förbränning och biogaspotential. Ett flertal egenskaper hos kaffesumpen behövde undersökas laborativt:

- Kaffesumpens innehåll av torrsubstans, brännbar substans, fukthalt, askhalt.
- Sumpens värmevärde, och ifall det minskar under lagring.
- Sumpens fukthalt och ifall den förändras under lagring.
- Spädningen som krävs för att kaffesumpen ska vara pumpbar.
- Densiteten på den utspädda sumpen för att beräkna transportvolymen i tankbilarna.
- Hur mycket sumpen sedimenterar efter att efterfrågad spädning uppnåtts.

Metoden för ovan nämnda laborationer presenteras i avsnitt 3.1.

Som andra steg i rapporten fördes dialog med olika biogasanläggning för att undersöka huruvida de kan ta emot kaffesumpen och i så fall vilka kostnader, transporter och krav på bränslet det skulle innebära. Informationen presenteras i kapitel 4.

Slutligen användes Excel och Matlab för att beräkna resultatet och svara på frågeställningen. Excelkalkylen använder värden från laborationerna för att beräkna miljöpåverkan från förbränning av sump eller dess ersättningsbränsle, effektiva värmevärdet för kaffesump, biogaspotentialen hos sumpen, samt exergiinnehållet i gas och fjärrvärme. Matlab simulerar de olika fallen och beräknar transport-, avlämnings- och totalkostnader, samt koldioxidutsläpp från transporter för varje fall. Detta uppnås genom att variera sträckor, tid och typ hos transporterna, massa eller volym av sumpen, samt de olika kostnaderna som varje fall innebär. I samtliga fall användes 7 dagar som upphämningsintervall.

Dessa delar presenteras i kapitel 5 – resultat.

### 3.1 Laborativa försök

Följande experimenten utfördes på Sveriges Lantbruksuniversitets, institutionen för energi och tekniks laborationssalar i Uppsala.



### 3.1.1 Metod för bestämning av värmevärdet

För att bestämma kaffesumpens kalorimetriska värmevärde görs först pellets från kaffesumpen. Sedan används en bombkalorimeter, där ett slutet kärl sänks ner i en känd mängd vatten. Pellets förbränns i kärlet och genom mätning av vattnets temperaturskillnad kan värmevärdet beräknas (Alvarez, 2010).

Det effektiva värmevärdet för fuktigt bränsle beräknas utifrån det kalorimetriska värmevärdet (Alvarez, 2010):

$$LHV = HHV(1 - F) - 2,447 * F [MJ/kg TS] \quad (\text{Ekv. 1})$$

Där F är bränslets fukthalt i decimalform. 2,447 är vattnets ångbildningsvärme vid 25°C.

### 3.1.2 Metod för bestämning av TS- och fukthalt

Fukthalten för ett bränsle bestäms laborativt genom att väga ett prov för och efter torkning, och beräkna skillnaden. Torkningen sker i en kopp som placeras i en ugn so håller 105°C under 24h (Enligt standard SS 18 71 70).

$$F = \frac{m_{fukt} - m_{torr}}{m_{fukt}} \quad (\text{Ekv. 2})$$

Där F är fukthalten i decimalform,  $m_{fukt}$  är fuktiga provets massa och  $m_{torr}$  är torra provets massa.

### 3.1.3 Metod för bestämning av VS-halt och askhalt

För att bestämma det VS-halten i sumpen vägdes de olika proverna in. Proverna kördes sedan i ugnen enligt metoden för att bestämning av TS-halt för att ta bort fukten. Därefter fick proverna stå 24h i en ugn som höll 550 °C.

Den massa som återstår motsvarar askinnehållet. Beloppet av viktnedskningen visar massan av VS-innehållet (Enligt standard SS 18 71 71).

### 3.1.4 Pumpbarhet, spädning och densitet.

Henriksdals reningsverk har krav på pumpbarheten hos kaffesumpen. I mottagningsstationen finns endast slangkoppling vars slangar är 10 m långa. Kaffesumpen måste därför spädas med vatten till en så kallad slurry (Carlsson, 2013).

Att späda kaffesumpen till rätt förhållande är viktigt för att göra den pumpbar, men samtidigt bör den inte spädas mer än nödvändigt. Späds kaffesumpen för mycket innebär det högre mottagnings- och transportkostnader, samt krav på större lagringsutrymme på Ericsson än vad som är nödvändigt. Sumpen får slutligen inte sedimentera för snabbt då det kan orsaka driftproblem i biogasanläggningen (Carlsson, 2013). För att utreda om så är fallet utfördes ett sedimenteringstest.

För att undersöka ovan nämnda egenskaper utfördes ett pumptest med olika spädningsförhållanden, ett sedimenteringsprov och en densitetsmätning.

Pumpförsöket utfördes genom att späda kaffesump till olika förhållanden och därefter försöka pumpa slurryn med en eldriven pump. Poängen med försöket var att ge ett ungefärligt värde på den spädning som krävs för att göra kaffesumpslurryn pumpbar och på så vis ge ett värde att använda i simuleringen. För mer exakt krävs provpumpning på plats på Henriksdals reningsverk.

### 3.1.5 Densitet hos sump

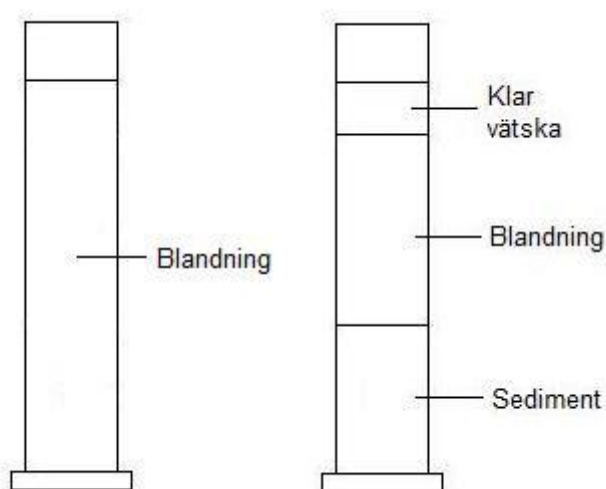
Densiteten hos kaffesumpen behövde bestämmas för de logistikfall där volymen på den utspädda sumpen är avgörande snarare än massan.

Först bestämdes vilket spädningsförhållande som krävs för att sumpen ska vara pumpbar. Kaffesumpen fylldes sedan på i bägare innehållande vatten tills en volymökning på 1 dl nåddes och sedan späddes blandningen till det önskade förhållandet. Provet vägdes och densiteten kunde bestämmas.

### 3.1.6 Sedimentering

Sedimentering hos en blandning bestäms genom ett *burktest* där blandningen får skiktas till olika faser och höjden på den klara vätskan mäts som funktion av tiden (Fitch & Stevenson, 1986).

I försöket späddes kaffesumpen med vatten till samma volymförhållanden som i pumpförsöket och rördes om. Provrören fick sedan stå en vecka och skiktas. Varje dags noterades höjden på vattenpelaren, blandningsskiktet och sedimentskiktet.



Figur 1. Slurry av kaffesump och vatten från början (t.v.) och Slurry efter lagring (t.h.)

### 3.1.7 Fukthalt och dess förändring under tid

Kaffesumpen kan mellanlagras på Ericssons kontor i allt från en timme till en vecka. (Andersson, 2013) För att undersöka hur en sådan lagring påverkar proverna gjordes en långvarig laboration.

Ett tiotal kilo färsk kaffesump lagras i kylskåp. Varje dag tas test från fem olika punkter i sumpen. Proverna läggs i förvägda koppar och allt vägs sedan ihop. Proverna ställs på en skyddad plats och lämnas orörda. När veckan är slut placeras alla prover i ugnen för att testa fukthalten, enligt *metod för bestämning av TS- och fukthalt*. Fukthaltens eventuella minskning plottas i diagram.

Det finns en risk att kaffesumpen börjar brytas ned då den lagras. För att undersöka om så är fallet togs första testdagen tre prover från olika delar kaffesumpsäcken. Dessa prover utgör startvärdena. Sista dagen togs tre nya prover från samma platser som de första tre. Dessa prover utgjorde slutvärdena. Proverna provsköts sedan i bombkalorimetern för att jämföra energiinnehållet, enligt *metod för bestämning av kalorimetriska värmevärdet*.

## 3.2 Metod för beräkning av miljöpåverkan

### 3.2.1 Biogaspotential hos ett substrat

Utrötningsförsöken utfördes ej i samband med detta examensarbete. Värden för specifik gasproduktion och energiinnehåll i biogasen kommer från Carlsson, & Uldal, 2009: *Substrathandbok för biogasproduktion*.

Volymen metangas ett substrat kan ge upphov till beräknas

$$Nm^3CH_4 = TS * VS \text{ av } TS * \frac{Nm^3CH_4}{ton VS} \quad (\text{Ekv. 3})$$

Där TS och VS bestäms laborativt, och  $Nm^3CH_4/ton VS = 300$  för kaffesump (Carlsson & Uldal, 2009).

### 3.2.2 Energibehov och växthusgasutsläpp vid biogasproduktion

För att driva biogasreaktorn krävs värme och el. Värmen kommer från förbränning av den i anläggningen producerade biogasen och värmebehovet uppskattas till **26 kWh** per ton substrat. Elbehovet antas vara **10 kWh** per ton substrat (Berglund, 2012) och förutsätter svensk elmix med emissionsfaktorn **22,6 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh** (Ahlgren et al, 2011). Biogasen som används i uppvärmningen antas ha emissionsfaktorn **0 g CO<sub>2</sub>-ekv/MWh**, under antagandet att den ingår i ett kretslopp.

### 3.2.3 Uppgradering av biogas

För att biogasen ska gå att använda i en fordonsmotor måste den uppgraderas till naturgaskvalitet. Uppgraderingen sker i tre steg – rening, uppgradering och tryckhöjning. Rening och uppgradering innebär att vatten, svavelväten, partiklar och koldioxid avskiljs och biogasen därmed får en högre metanhalt och energivärde (Kovac, 2013). I tryckhöjningen höjs metanhalten till åtminstone 97% och trycket höjs till 250 bar. Elförbrukningen för uppgraderingen motsvarar **5 %** av den uppgraderade biogasens energiinnehåll (Börjesson, 2003). Elen som används antas vara svensk elmix, vilken har medelutsläppen **22,6 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh** (Ahlgren et al, 2010).

Metanläckage är ett problem vid uppgraderingsanläggningar. Mätning vid Uppsala biogasanläggning visade att metanslippet var **2,05%** (Kovac, 2013).

Det finns användningsområden för ouppgraderad gas. Biogasreaktorn kräver värme för att processen ska fungera och i rapporten antas att det är den i anläggningen producerade gasen som användes. Vidare så antas att all övrig biogas uppgraderas.

Rapporten förutsätter att biogasanläggningarna använder sig av vattenskrubbteknik, då det är den vanligaste metod för rening, och dessutom den idag mest effektiva reningsmetoden för större anläggningar (Ahlgren et al, 2009).

### 3.2.4 Återförsel av rötresten och minskat behov av handelsgödsel

Utöver biogas och minskad användning av fossila bränslen så medför rötning av organiskt material indirekta energivinster. Om rötresterna återförs till lantbruket och ersätter handelsgödsel, så minskar behovet av att producera handelsgödsel.

Tillverkningen av handelsgödselskväve sker huvudsakligen med naturgas. Detta för att naturgas är billigt och att ammoniak kan framställas nära gaskällan (Andersson, 2006). Det går att producera kvävegödsel med elektricitet, olja eller naturgas, men i denna rapport antas att naturgas används.

Energianvändningen vid tillverkning av kväve- och fosforgödsel antas vara 45 MJ/kg kväve respektive 25 MJ/kg fosfor (Berglund & Börjesson, 2003). I tabell 1 visas energivinstens storlek då rötresten ersätter handelsgödsel och behovet av handelsgödsel minskar.

*Tabell 1. Indirekta energivinster då rötresten ersätter handelsgödsel. Vid kompostering antas att en del av kvävet förloras genom ammoniak och lustgas. Värdena är för sorterat organiskt avfall, inte kaffesump, och bör därför endast ses som en storleksordning.*

Organiskt avfall rötas istället för att:	Minskat kvävegödselbehov (kg / ton TS)	Minskat fosforgödselbehov (kg / ton TS)	Indirekt energivinst (MJ / ton TS)
- Komposteras	6,7	-	300
- Förbränns	19	4	970

För att en biogasanläggning ska få återföra rötresten som innehåller avloppsslam till åkermarker måste den vara certifierad enligt REVAQ. REVAQ är ett certifieringssystem som arbetar för att minska flödet av farliga ämnen till reningsverk, att skapa en hållbar återföring av växtnäring samt att hantera riskerna på vägen dit (REVAQ, 2012). För att räkna med de positiva effekterna från näringsåterförelsen måste de undersökta anläggningarna vara certifierade enligt REVAQ, och de undersöktes med detta i åtanke.

### 3.2.5 Utsläpp från bränsleanvändning

Då biogasen ersätter diesel i transporter innebär det att ett fossilt bränsle ersätts av ett koldioxidneutralt bränsle. De totala koldioxidutsläppen kommer därför minska med de utsläpp motsvarande förbränning av diesel skulle innebära. Utsläpp från förbränning beräknas (Gode et al, 2011):

$$E_{\text{förbränning}} [\text{kg}] = \text{Bränsle} [\text{ton}] * \text{värmeverde} \left[ \frac{\text{GJ}}{\text{ton}} \right] * \text{Emissionsfaktor} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{GJ}} \right] \quad (\text{Ekv. 4})$$

*Tabell 2. Emissionsfaktor och värmevärden för olika bränsletyper. Torv kan anses fossilt eller förnyelsebart beroende på rådande politik, för mer information se kapitel 6.1.1. (Strömberg & Herstad Svärd, 2012, Gode et al, 2011).*

Bränsle	Emissionsfaktor	Värmevärde
Svensk elmix	22,6 kg CO <sub>2</sub> -ekv/MWh	-
Naturgas	56,5 kg CO <sub>2</sub> -ekv/GJ	35,96 GJ/m <sup>3</sup>
Diesel	72 kg CO <sub>2</sub> -ekv/GJ	35,28 GJ/m <sup>3</sup>
Torv (fossilt)	386,3 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh	6-15 MJ/kg
Torv (förnyelsebart)	63 g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh	6-15 MJ/kg

För att beräkna emissioner från transporter användes värden och antaganden från Nätverket för Transport och Miljöns metoder och data. NTM har skapat en metod för beräkning av gods- och persontransporters emissioner, resursanvändning och andra externa effekter. Metoden är

framtagen för att bedöma transporters sammantagna miljöpåverkan (NTM, 2013). Se kapitel 4.6.2 för mer information.

### 3.2.6 Växthusgasers miljöpåverkan i koldioxidekvivalenter

Olika gaser bidrar till växthuseffekten och global uppvärmning olika mycket. För att jämföra utsläpp av olika typer av gaser görs en omräkning till koldioxidekvivalenter. Ett ton metangas påverkar växthuseffekten lika mycket som 21 ton koldioxid. I tabell 3 visas omräkningsfaktorn för olika växthusgasar.

Tabell 3. Omräkningsfaktorn för olika gaser till koldioxidekvivalenter (FN:s klimatpanel (UNFCCC)).

Ämne	Koldioxidekvivalenter
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310

### 3.2.7 Marginalbränsle i Uppsala fjärrvärmeverk

I Uppsala fjärrvärmeverk förbränns kaffesumpen i en panna. Om kaffesumpen istället skickas till en biogasanläggning kommer det behövas ett ersättningsbränsle i fjärrvärmeverket – ett så kallat marginalbränsle. Olika bränslen har olika stor inverkan på resultatet och därför behövde det avgöras vilket bränsle eller bränslemix som utgör marginalbränslet i Uppsala fjärrvärmeverk. I tabell 5 redovisas marginalbränslet för Uppsala fjärrvärmeverk.

### 3.2.8 Total skillnad i koldioxidutsläpp

De totala utsläppen för ett fall beräknas:

$$E_{tot} = E_{transporter} + E_{marginal} + E_{uppgradering} + E_{metanslip} - E_{diesel} - E_{rötrest} \quad (\text{Ekv. 5})$$

Där  $E_{tot}$  beskriver de totala utsläppen för varje fall,  $E_{transporter}$  beskriver utsläppen från transporter,  $E_{marginal}$  beskriver utsläppen från marginalbränslet i fjärrvärmeverket,  $E_{uppgradering}$  beskriver utsläppen från uppgraderingsanläggningen,  $E_{metanslip}$  beskriver utsläpp på grund av läckage från metanlagring,  $E_{diesel}$  beskriver minskade koldioxidutsläpp då användningen av fossila bränslen minskar för att biogas ersätter diesel, och  $E_{rötrest}$  beskriver reducerade emissioner då behovet av handelsgödsel minskar när näringsämnen återförs till jordbruk.

### 3.2.9 Exergi - att jämföra biogas med fjärrvärme

Både biogas och fjärrvärme är energiresurser vars kvantitet beskrivs med enheten joule eller wattimmar. Värden på energins kvantitet i respektive scenario existerar, men det nämner inget om energins kvalitet. Att endast jämföra energiinnehållet ger en felaktig bild av värdet för gasen och värmen. Så för att kunna jämföra fjärrvärme med biogas och det lämpligt att introducera exergibegreppet som – till skillnad från energi – tar hänsyn till kvaliteten hos olika energislag (Wall, 1992).

Olika energiformer är mer eller mindre omvandlingsbara till varandra. Till exempel kan biogas omvandlas till rörelseenergi genom en förbränningsmotor med låg värme som restprodukt. Värme med hög temperatur i förhållande till omgivningen kan omvandlas till mekanisk energi med lågt tempererad värme som restprodukt. Värme med låg temperatur i förhållande till omgivningen är dock svårt att omvandla till andra energislag och anses därför lågvärd (Wall, 1992, 1993).

Det framgår att det finns två sorters energi: den obegränsat kan omvandlas till andra energiformer, och den energi som endast i begränsad omfattning kan omvandlas till andra energiformer. **En energiform är mer värdefull ju mer omvandlingsbar den är** och det innebär att värdet av en energiform ökar med dess exergiandel (Alvarez, 2010).

De olika energislagen har således olika kvalitet och förhållandet mellan exergi och energi definieras genom den så kallade exergifaktorn (Wall, 1992, 1993).

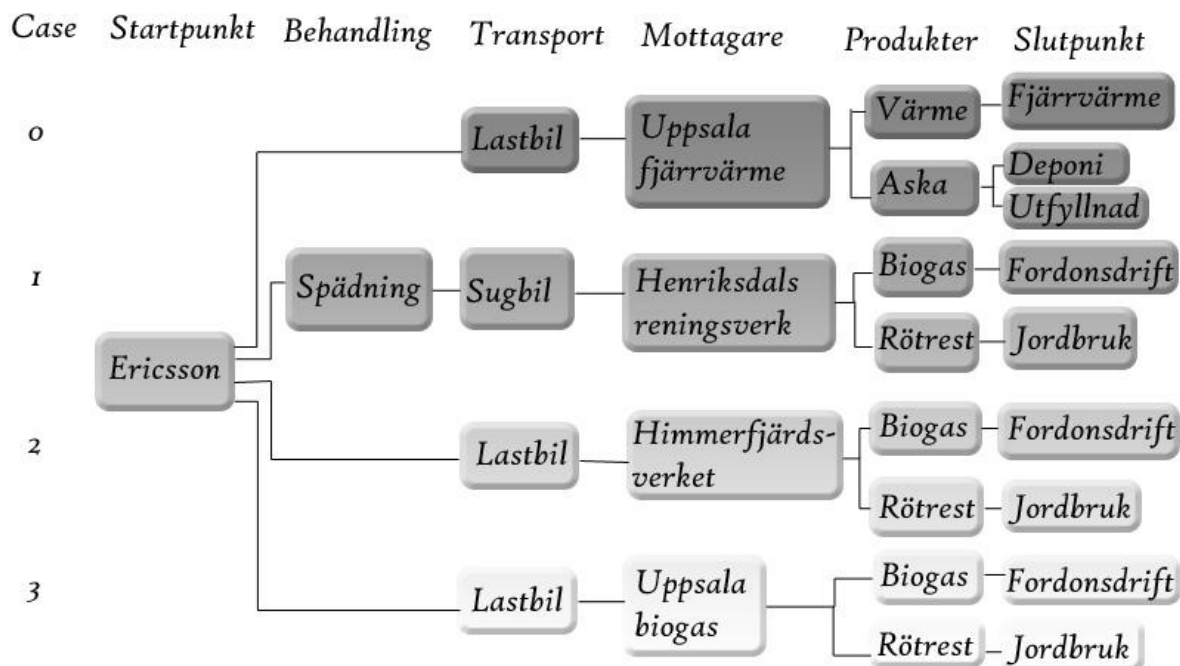
*Tabell 4. Exergifaktorn för olika energislag. Skillnaden mellan värmens temperatur och omgivningens temperatur avgör kvaliteten på värmen och beräknas utifrån uttrycket för carnotprocessens verkningsgrad:  $\eta_c = (T - T_0)/(T)$ .*

Energislag	Exergifaktor
El	1
Mekanisk energi	< 1
Kemisk energi (t.ex. biogas)	0,95
Fjärrvärme	0,3
Värmeenergi 100 C	0,21
Värmeenergi 50 C	0,155

## 4 Beskrivning av studerade fall

Dialog fördes med flera biogasanläggningar i området runt Kista samt med Uppsala fjärrvärmeverk dit sumpen transporteras idag för att undersöka lämpligheten hos respektive anläggning. De tre intressanta anläggningarna är Henriksdals avloppsreningsverk, Himmerfjärdsverket och Uppsala biogasanläggning.

Anläggningarna undersöktes med avseende på transporter, kostnader, förbehandlingskrav och avfallshantering.



Figur 2. Blockschema över olika fall. Fall 0 representerar nuläget där kaffesumpen transporteras till Uppsala och förbränns.

### 4.1 Nuläget – Uppsala fjärrvärmeverk

I dagsläget sköter IL Recycling sophantering på Ericsson. Kaffesumpen skickas tillsammans med övrigt brännbart avfall till SÖRAB i norra Stockholm som i sin tur avsätter avfallet till Vattenfalls fjärrvärmepanna i Uppsala där den förbränns. Då kaffesumpen försvinner som bränsle från fjärrvärmeverket ersätts den av marginalbränsle. Olika bränslen har olika stor inverkan på resultatet och det var därför viktigt att veta vad som utgör marginalbränslet.

Efter dialog med Anna Karlsson, Miljöspecialist på Vattenfall Värme så framkom att om 100 ton kompost sorteras ut från det brännbara avfallet så har Vattenfall möjlighet att kontraktera nytt avfallsbränsle. Olja eller torv ersätter därför inte komposten, utan det är en bränslemix bestående av runt 75 % förnyelsebart bränsle som utgör marginalbränslet. Övriga ca. 25 % kommer från plast i soporna och mängden varierar, vilket påverkar emissionsfaktorn. Koldioxidutsläppen från Uppsala fjärrvärmeanläggning de senaste åren redovisas i tabell 5 (Vattenfall värme, 2013).

Tabell 5. Medelvärde för emissionsfaktorer i Uppsala fjärrvärmeverk de senaste fem åren.

År	Medel	2012	2011	2010	2009	2008
CO <sub>2</sub> -utsläpp utan torv inräknat [g/kWh]	59,8	63	78	52	51	55
CO <sub>2</sub> -utsläpp med torv inräknat [g/kWh]	201,8	170	195	222	207	215

Då torv ej kommer användas som marginalbränsle kommer medelvärdet för CO<sub>2</sub>-utsläpp utan torv inräknat från de senaste fem åren användas i beräkningsdelen i avsnitt 5.2. Det kan dock uppstå situationer då endast torv utgör marginalbränsle. Som känslighetsanalys jämförs därför utsläppen från bränslmixen med de utsläpp som skulle ske om endast torv utgjorde bränslet. Se avsnitt 6.1.

Från avfallsförbränningen i Uppsala fjärrvärmeverk kommer två typer av aska: bottenaska från pannorna och flygaska från rökgasreningen. Bottenaskan används som utfyllnadsmaterial eller tätningsskikt för sluttäckning av deponier. Flygaskan placeras på deponi för farligt avfall eller används för att neutralisera annat farligt avfall (Vattenfall Värme, Uppsala, 2012).

## 4.2 Henriksdals avloppreningsverk

Henriksdals reningsverk tillhör Stockholm vatten och är beläget på Värmdövägen 23 på gränsen mellan Nacka kommun och Stockholm kommun. Sträckan från Ericsson är 24 km enkel väg. De har som huvudsakligt mål att rena avloppsvatten men har även en fungerande biogasproduktion. Efter dialog med Andreas Carlsson, biogasingenjör på Henriksdal uppgavs att Henriksdals reningsverk kan ta emot kaffesumpen under vissa förutsättningar:

- Att transporterarna sker med tankbil då mottagningsstationen har endast slangkoppling .
- Kaffesumpen späds med vatten så att den blir pumpbar.
- Att den utspädda sumpen inte sedimenterar för mycket.
- Sumpen kan eventuellt också behöva malas innan den transporteras.

Samt att kostnaden för avlämning av kaffesump i dagsläget är 175 kr per kubikmeter slurry. Engångskostnaden för att installera en kvarn från Disperator på Ericssons kontor är 300 000 kr (Andersson, 2013). Transportkostnaden för tankbil antas vara samma som för lastbil.

Henriksdals reningsverk är certifierat enligt REVAQ och får därför återföra rötresten till jordbruk. Slammet nyttjas för återställning av markområden vid gruvor, spridning på åkermark eller kompostering (Henriksdals avloppsreningsverk, 2013), men i rapporten antas att alla näringsämnen återförs till jordbruk.



Tabell 6. Sökta värden för Henriksdals reningsverk.

Henriksdals reningsverk	
Sträcka och körtid, enkel resa	24 km, 23 min
Transportsätt	Tankbil
Förbehandlingskrav	Spädning
Mottagningskostnad	175 kr / m <sup>3</sup> slurry
Installationskostnad	300 000 kr
Transportkostnad	781 kr / timme
Biogasens användningsområde	Fordonsgas, samt el- och värmeproduktion
REVAQ-certifierat?	Ja

### 4.3 Himmerfjärdsverket

Himmerfjärdsverket är en del av Sydvästra stockholmsregionens va-verksaktiebolag, eller SYVAB. Verket är beläget vid Himmerfjärdens norra strand i Grödinge, Södertörn. Från Ericssons kontor i Kista är transportsträckan 56 km enkel väg. Anders Aronsson, Affärsutvecklare på SYVAB, uppgav att Himmerfjärdsverket kan ta emot kaffesumpen och inte har några krav på hur sumpen ska förbehandlas. De tar emot organiskt nedbrytbart material under förutsättningen att den är fri från föroreningar som plast, papper och metall. Vidare är de flexibla när det gäller mottagning av sumpen då mottagningsanläggningen hos Himmerfjärdsverket hanterar både flakbil och sugbil. I dagsläget tar SYVAB ingen avgift för att ta emot sumpen. Så förväntas det även vara i framtiden, även om det ej finns en garanti för det.

Som del av reningsprocessen i Himmerfjärdsverket bildas biomull. Förutom biogasen från rötning används biomullen till jordförbättring genom att återföras till jord- och skogsbruk (SYVAB, 2013).

Tabell 7. Sökta värden för Himmerfjärdsverket.

Himmerfjärdsverket	
Sträcka och körtid, enkel väg	56 km, 55 min
Transportsätt	Tank- eller lastbil
Förbehandlingskrav	Inget
Mottagningskostnad	0
Installationskostnad	0
Transportkostnad	781 kr / timme
Biogasens användningsområde	Ersätter fossilt bränsle i Stockholmsområdet
REVAQ-certifierat?	Ja

### 4.4 Uppsala biogasanläggning

Uppsala biogasanläggning tillhör Uppsala vatten och är beläget vid Kungsängens gård, cirka 2,5 km sydost om Uppsala centrum. Sträckan från Ericssons kontor i Kista till Uppsala biogasanläggning är 57 km enkel väg. Avsikten med biogasanläggningen är att ta emot och röta organiskt avfall så att näringsämnen kan återföras till naturen och energiinnehållet tillvaratas. Lennart Nordin, sektionschef på Uppsala vatten, uppgav att Uppsala biogasanläggningen inte har några krav på förbehandling av kaffesumpen, men kostnaden kan eventuellt bli högre ifall kaffesumpen måste förbehandlas avsevärt. Uppsala biogasanläggning tar idag en avgift på 600 kr per ton för att ta emot sumpen.

Rötresterna från anläggningen används som växtnäringsämne på åkermark (Uppsala vatten, 2011).

Tabell 8. Sökta värden för Uppsala biogasanläggning.

Uppsala biogasanläggning	
Sträcka och körtid, enkel väg	57 km, 35 min
Transportsätt	Lastbil
Förbehandlingskrav	Inget
Mottagningskostnad	600 kr / ton
Installationskostnad	0
Transportkostnad	781 kr / timme
Biogasens användningsområde	Ersätter fossilt bränsle i lokalbusstrafiken
REVAQ-certifierat?	Renar ej avloppsslam

## 4.5 Strukna anläggningar

Fler anläggningar undersöktes som del av projektet, men ströks av följande anledningar:

### 4.5.1 Bromma

Bromma reningsverk är en del av Stockholm vatten. Verket fungerar som Henriksdals reningsverk, med avfallsrening och biogasproduktion, men saknar uppsamlingsplats och det går därför inte att lämna kaffesump hos dem. Bromma reningsverk **stryks** därför som alternativ (Carlsson, 2013).

### 4.5.2 Skarpnäck

Swedish Biogas International planerar att bygga en biogasanläggning i Skarpnäck för samrötning av vegetabiliska restprodukter från Stockholmsregionen. Avståndet till den planerade anläggningen är ca 29 km och mottagningsstationen ska kunna hantera fast material (Swedish Biogas, 2013).

Efter byggnadsansökan år 2010 har dock byggnationen av anläggningen mötts av flera motgångar och fått byggnadstillståndet nekat. I december 2012 skickades en överklagan in, men byggstart är i dagsläget långt borta. Skarpnäck biogasanläggning **stryks** därför som alternativ.

I skrivande stund (2013-02-27) har Mark- och Miljööverdomstolen meddelat prövningstillstånd och det kan därför vara värt att återkomma till Skarpnäcks biogasanläggning vid ett senare skede (Svea Hovrätt, 2013).

### 4.5.3 SRV Återvinning

Efter mailkonversation med Åsa B. Rensvik, Utvecklingsingenjör för biologisk behandling på SRV, framkom att de ej var intresserade att ta emot sumpen till deras biogasanläggning utan i så fall lägga sumpen i deras grönkompost. Därför **stryks** SRV Återvinning som alternativ.

## 4.6 Transporter

### 4.6.1 Transportkostnader

Ericsson har idag avtal med IL Recycling som sköter transporter av sopor. Priserna kan ändras om det gäller olika sträckor, innehåll i lasten eller lastbilstyper, men tills vidare används priset i det gällande avtalet enligt tabell 9 (Andersson, 2013).

Tabell 9. Transport-, hämtnings- och destruktionskostnader enligt avtal mellan Ericsson och IL Recycling.

Brännbart avfall i kärl 190L till 660L	
Destruktionsavgift	550 SEK/ton
Hämtningsavgift	295 SEK/stopp
Brännbart avfall i container 8m <sup>3</sup> till 30 m <sup>3</sup>	
Destruktionsavgift	550 SEK/ton
Transportkostnad	781 SEK/timme

#### 4.6.2 Miljöpåverkan från transporter

De olika anläggningarna ställer olika krav på hur sumpen kan tas emot och därmed hur den ska transporteras. Henriksdals reningsverk har endast slangkoppling och transporterarna måste därför ske med tankbil. Himmerfjärdsverket tar emot både fast och flytande avfall, och transporterarna kan därför ske med både tank- och lastbil. Uppsala biogasanläggning har samma krav som Himmerfjärdsverket.

Lastbilar finns definierade i NTM som mellantung eller tung lastbil. Varje lastbil har utsläpp och bränsleanvändning relaterade till sig.

Tabell 10. Mellantung lastbils definition i NTM.

Mellantung lastbil	
Maxlast, ton	7
Beskrivning	Dieseldriven lastbil < 18 ton, Euro 3
Trafikkategori	Fyllda
Vägkategori	Landsvägar
Bränsleförbrukning, l/km	0,223
Bränsletyp	Diesel
Utsläpp	619 gram per fordonskilometer
Energianvändning	7,98 MJ per fordonskilometer
Källa	NTM Int Road Europé 081222.pdf

Tabell 11. Tung lastbils definition i NTM.

Tung lastbil	
Maxlast, ton	15
Beskrivning	Dieseldriven tung lastbil < 26 ton, Euro 3
Trafikkategori	Fyllda
Vägkategori	Landsvägar
Bränsleförbrukning, l/km	0,334
Bränsletyp	Diesel
Energianvändning	928 gram per fordonskilometer
Utsläpp	11,96 MJ per fordonskilometer
Källa	NTM Int Road Europé 081222.pdf

Tankbilar finns ej definierade i NTM och behöver därför estimeras med en av lastbilarna ovan. Mindre tankbilar, som de som används för slamsugning, har en tankvolym på 11 m<sup>3</sup> vilket motsvarar runt 11 ton transportvikt. Mediumlastbilar har en maxlast på 7 ton och de stora lastbilarna har maxlast 15 ton. Därför väljs *Tung lastbil* att representera tankbilarna.

För vidare information om lastbilarna, se *Bilaga 5: Transporter enligt NTM*.

## 5 Resultat

### 5.1 Laborativa försök

I detta avsnitt presenteras endast resultaten kortfattat. För fullständig redovisning av de laborativa resultaten, se *Bilaga 2: Laborationer*.

Det kalorimetriska värmevärdet för kaffesump bestämdes enligt laborativa metodavsnittet till **22,91** MJ/kg. Det effektiva värmevärdet beräknades utifrån det kalorimetriska värmevärdet till **12,37** MJ/kg. För 100 ton kaffesump innebär det **343,55** MWh.

Torrsubstans-, VS- och fukthalten bestämdes enligt metodavsnittet. Under en veckas tester var medelvärdet för torrsubstanshalten **60,23** %. VS-halten uppmättes till **92** % av torrsubstansen. Medelvärdet för fukthalten under en veckas tester var **39,77** %. Testerna visar också att fukthalten ej förändras nämnvärt då kaffesumpen lagras.

Testet för att undersöka vid vilket spädningsförhållande kaffesumpslurryn blev pumpbar visade att förhållandet **1** del kaffesump till **1** del vatten var pumpbart. Densiteten för kaffesumpsslurryn var vid spädningsförhållandet 1:1 **0,75** kg/l. Resultatet visar att slurryn är pumpbar vid 30 % TS-halt i ett småskaligt försök.

Sedimenteringstestet visade att kaffesumpen hade skiktat sig helt efter 24 timmar och efter det sågs ingen skillnad.

Lagringsförsöket visade att sumpens energiinnehåll minskade med **1** % under en veckas lagring på grund av nedbrytning.

### 5.2 Beräkning

#### 5.2.1 Miljöpåverkan

De olika fallen kommer resultera i skillnad i utsläpp av koldioxid. Skillnaden beror på flera faktorer: transportutsläpp, utsläpp från förbränningen av bränslet som ersätter kaffesumpen i fjärrvärmeverket, minskningen av utsläpp då fossil diesel ersätts av koldioxidneutral biogas, energianvändning i rötktammare, elanvändning och metanläckage i uppgraderingsanläggning, samt minskat handelsgödselbehov då rötresten återförs till lantbruk. Koldioxidutsläppen från transporterna beräknas i Matlab-simuleringen och presenteras i avsnitt 5.3.

#### 5.2.2 Kaffesumpen ersätts av marginalbränsle

Förbränning av 100 ton kaffesump ger upphov till 343,5 MWh värme. Samma mängd energi kommer behöva ersättas med marginalbränslemix. Medelvärdet för emissionsfaktorn de senaste fem åren kombinerat med ekvation 4 ger att koldioxidutsläppen ökar med **20,54** ton då marginalbränslet ersätter kaffesumpen i fjärrvärmeverket.

#### 5.2.3 Biogasen ersätter fossil diesel

Ekvation 3 tillsammans med TS-halten från avsnitt 5.1 ger att biogaspotentialen hos kaffesumpen är **16622,67** Nm<sup>3</sup>. Efter avdrag för uppgradering och läckage innehåller biogasen 149,1 MWh energi och ersätter i alla scenarion fossilt bränsle i stadsmiljöer. En liter diesel innehåller 9,87 kWh, vilket säger att 15104 l diesel ersätts av biogasen.

Ekvation 4 ger att koldioxidutsläppen minskar med **39,43** ton då dieseln ersätts av biogas.

#### 5.2.4 Exergiinnehåll

Biogasen har energiinnehållet 162,9 MWh när den lämnar biogasreaktorn. Efter avdrag för uppvärmning av reaktorn, uppgradering och metanläckage återstår 149 MWh. Med exergifaktorer från tabell 2 ges att biogasen har ett totalt exergiinnehåll på **142** MWh, medan fjärrvärmens innehåller **103** MWh exergi. Sett till exergiinnehållet så är det en bra idé att göra biogas av kaffesumpen istället för att förbränna den.

#### 5.2.5 Rötresters miljönytta

De tre undersökta anläggningarna är alla antingen certifierade enligt REVAQ eller tar inte emot avloppsslam. Därmed återförs rötrester till jordbruk i samtliga fall. Återförsel av 100 ton rötrester innebär minskade utsläpp från handelsgödselproduktionen med **3,3** ton CO<sub>2</sub>-ekv.

#### 5.2.6 Antal bilar per år

Den producerade biogasen efter avdrag för uppvärmning av bioreaktorn, uppgradering till fordonskvalitet och metanläckage, motsvarar **6** bilars drift per år om en bil antas dra 7 Nm<sup>3</sup> om dagen.

### 5.3 Simulering

Simulering i Matlab användes för att beräkna transport- och avlämningskostnader, samt koldioxidutsläpp från transporter för varje fall. Se *Bilaga 4: MATLAB* för kod och körexempel för varje fall.

Fallet med Henriksdals avloppsreningsverk förutsätter en spädning av sumpen med förhållandet en del sump till en del vatten med, vilket innebär en total volym hos slurryn på **149,7** m<sup>3</sup>/år. Avlämningskostnaden blir **26 193** kr/år och transportkostnaderna blir **31 136** kr/år. Transportsträckan blir **2496** km vilket innebär ökade koldioxidutsläpp med **2,32** ton/år.

För Himmerfjärdsverket är avlämningskostnaderna **0** kr/år och transportkostnaderna **74 455** kr/år. Körsträckan blir **5824** km och det innebär ökade koldioxidutsläpp från transporterna med **3 605** ton/år.

För Uppsala Biogasanläggning visade simuleringen att transportkostnaderna blir **47 380** kr/år och avlämningskostnaderna blir **59 994** kr/år. Körsträckan blir **5928** km vilket innebär ökade koldioxidutsläppen från transporterna blir **3,67** ton/år.

### 5.4 Olika fall

#### 5.4.1 Fall 1 – Henriksdals avloppsreningsverk

Fallet Henriksdal avloppsreningsverk förutsätter tung lastbil enligt NTM, transporter på 24 km eller 23 min enkel väg, 175 kr per m<sup>3</sup> slurry i avlämningsavgift, spädning av kaffesumpen med förhållanden 1:1, 781 kr per timme i transportkostnader. Installationskostnaderna är 0 eller 300 000 kr beroende på om en kvarn installeras eller inte. Om en avskrivningstid på 20 år antas för kvarnen innebär det en kostnad på 15 000 kr per år.

Tabell 12. Resultatet för fallet med Henriksdals reningsverk. De sökta värdena redovisas i bred text.

Henriksdals avloppsreningsverk	
Ökad körsträcka	2496 km per år
Koldioxidutsläpp från transporterna, uppgradering, metanslip och värme	7,2 ton per år
Minskade utsläpp från återförsel av rötrest	3,3 ton per år
Koldioxidutsläpp från marginalbränsleanvändning	20,5 ton per år
Reducerade koldioxidutsläpp från biogasanvändning	39,4 ton per år
Total skillnad i koldioxidutsläpp	<b>-15,1 ton per år</b>
Ökad kostnad från transporterna	31136 kr per år
Ökad kostnad från mottagning av kaffesumpen	26193 kr per år
Ökad kostnad för installering av disperator	0 eller 300 000 kr
Total ökad kostnad	<b>57329 kr per år eller 72329 kr per år om man räknar med en avskrivningstid på 20 år för avfallskvarnen</b>

Fallet med Henriksdals avloppsreningsverk innebär att personalen på Ericsson måste ändra i sina rutiner för hur kaffesumpen hanteras. Om inte en kvern installeras måste kaffesumpen tömmas ur säckarna och spädas för hand.

#### 5.4.2 Fall 2 – Himmerfjärdsverket

För Himmerfjärdsverket gäller mellantung lastbil enligt NTM, 56km 55 min enkel väg, 0 kr per ton i avlämningsavgift, 781 kr per timme i transportkostnader, ingen installationsavgift.

Tabell 13. Resultatet för fallet med Himmerfjärdsverket som mottagare av sumpen. Sökta värden markerade med bred text.

Himmerfjärdsverket	
Ökad körsträcka	5824 km per år
Koldioxidutsläpp från transporterna, uppgradering, metanslip och värme	8,4 ton per år
Minskade utsläpp från återförsel av rötrest	3,3 ton per år
Koldioxidutsläpp från marginalbränsleanvändning	20,5 ton per år
Reducerade koldioxidutsläpp från biogasanvändning	39,4 ton per år
Total skillnad i koldioxidutsläpp	<b>-13,8 ton per år</b>
Ökad kostnad från transporterna	74455 kr per år
Ökad kostnad från mottagning av kaffesumpen	0 kr per år
Ökad kostnad för installering av disperator	0 kr
Total ökad kostnad	<b>74455 kr per år</b>

#### 5.4.3 Fall 3 – Uppsala biogasanläggning

För Uppsala biogasanläggning gäller mellantung lastbil enligt NTM, 57 km eller 35 min enkel väg, 600 kr per ton i mottagningsavgift, 781 kr per timme i transportkostnader, ingen installationsavgift.

Tabell 14. Resultatet för fallet Uppsala biogasanläggning. Sökta värden redovisas i bred text.

Uppsala biogasanläggning	
Ökad körsträcka	5928 km per år
Koldioxidutsläpp från transporterna, uppgradering, metanslip och värme	8,5 ton per år
Minskade utsläpp från återförsel av rötrest	3,3 ton per år
Koldioxidutsläpp från marginalbränsleanvändning	20,5 ton per år
Reducerade koldioxidutsläpp från biogasanvändning	39,4 ton per år
Total skillnad i koldioxidutsläpp	<b>-13,7 ton per år</b>
Ökad kostnad från transporterna	47381 kr per år
Ökad kostnad från mottagning av kaffesumpen	59995 kr per år
Ökad kostnad för installering av disperator	0 kr
Total ökad kostnad	<b>107376 kr per år</b>

## 6 Diskussion

### 6.1 Känslighetsanalys – torv som marginalbränsle

Intresset för att bygga ut avfallsförbränningen i Sverige är stort, och om alla de planerade förbränningsanläggningarna byggs ut kommer Sverige inom åtta år kunna förbränna 30 % mer avfall än i dag (Avfall Sverige, 2012). Idag importerar Sverige sopor från Norge för att driva fjärrvärmeverk och om efterfrågan på sopor ökar ytterliggare kan priset bli högt. I rapporten antogs att Uppsala fjärrvärmeverk har möjlighet att köpa nya sopor då kaffesumpen skickas till andra anläggningar, men skulle priset på sopor stiga finns risken att torv används som marginalbränsle istället. Därför undersöktes hur resultatet skulle påverkas om torv skulle utgöra marginalbränslet istället för avfallsmixen som användes i kapitel 4.1.

Det kan nämnas att om priset på sopor skulle öka finns möjligheten att få betalt för kaffesumpen eller billigare pris på att lämna av sumpen. En sådan förändring skulle kunna förändra den ekonomiska lönsamheten i projektet och fall där mottagningskostnaden utgör den största kostnaden skulle bli mer lönsamma. Fokus i denna rapport ligger dock på miljönytta under ett kort perspektiv och därför görs ingen känslighetsanalys av den ekonomiska lönsamheten.

Först bör frågan om huruvida torv är fossilt eller förnyelsebart övervägas. Internationellt har torv betraktats som likvärdigt med fossila bränslen, medan våra nordiska grannländer karaktäriserar torv som ett långsamt förnyelsebart biobränsle (Vattenfall, 2012). I svensk energipolitik är torvanvändning berättigat till elcertifikat (Energimyndigheten, 2013) och befriat från koldioxidskatt (Biogasportalen, 2011). Att se torv som fossilt eller förnyelsebart kommer innebära stor skillnad i resultaten. I denna diskussion görs inget val, utan båda fallen presenteras.

Från tabell 2 fås att emissionsfaktorn för torv är 386,3 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh om torv anses fossilt och 63 g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh om torv anses förnyelsebart. Det kan nämnas att förnyelsebar torv har en emissionsfaktor som är lik emissionsfaktorn för soporna (59,8 g / kWh) och därför inte kommer påverka resultaten nämnvärt. Sätts värdena för torv in i beräkningarna istället för emissionsfaktorn för sopförbränning ges följande resultat:

Fall 1, Henriksdal: Om torv anses förnyelsebart så **minskar** koldioxidutsläppen med **14** ton, vilket kan jämföras med en minskning på 15 ton då sopblandningen utgör bränslet i fjärrvärmepannan. Anses istället torv fossilt kommer utsläppen istället **öka** med **97** ton.

För fall 2 – Himmerfjärdsverket blir minskningen av utsläpp 13 ton om torv ses förnyelsebart. Om torv anses fossilt ökar utsläppen istället med 98 ton. Används sopor skulle utsläppen minska med 14 ton.

För fall 3 – Uppsala blir resultaten de samma som i fall 2. Fossil torv innebär ökade utsläpp med 98 ton koldioxid, medan förnyelsebar torv minskar utsläppen med 13 ton. Om sopor används som bränsle kommer utsläppen minska med 14 ton.

Känslighetsanalysen visar att valet av marginalbränsle i Uppsala fjärrvärmeverk, och huruvida torv anses fossilt eller inte, kommer ha stor inverkan på resultatet:

Utsläppen från förnyelsebar torv är så pass lika utsläppen från sopförbränning att skillnaden blir liten – utsläppen minskar med ett ton mindre än om sopor används. Så länge torv anses förnyelsebart i



Sverige kan bränslet bytas utan någon större påverkan på utsläpp. Har man istället samma syn på torv som de icke-nordiska länderna blir skillnaderna större. Används fossil torv som ersättning till kaffesumpen kommer koldioxidutsläppen öka med runt 100 ton istället för att minska med 15 ton. Utsläppen ökar rejält istället för att reduceras och all miljönytta med projektet försvinner.

## 6.2 Osäkerheter

Under arbetets gång dök det upp frågor som belyste tvivelaktigheter i antaganden och metoder.

### 6.2.1 Pumpning och spädning

Pumpprovet som utfördes i stycke 3.1.4 är endast en grov uppskattning. Det går inte att skala ner tyngdkraft och det är svårt att efterlikna förhållandena i reningsverket i ett labb. Laborationen gav endast en grov uppfattning om vilken spädning som krävs för slurryn ska bli pumpbar och ge ett värde att används i simuleringen.

Om Henriksdals reningsverk blir aktuellt måste provpumpen utföras på plats på reningsverket, vilket Andreas Carlsson har erbjudit. Det kan innebära att spädningsförhållandet förändras och att kostnaden blir annorlunda.

### 6.2.2 Transporter

I resultaten visas att sträckan Ericsson till Uppsala och Ericsson till Himmerfjärden är ungefär lika lång, men att tiden transporterna tar skiljer mycket – tiden till Uppsala är hälften så lång som tiden till Himmerfjärden. I simuleringen är det enbart transportsträckan som avgör koldioxidutsläppen och detta kan ge en skev bild av verkligheten. Samma avstånd men dubbelt så lång körtid borde innebära högre utsläpp, men det tar simuleringen ej hänsyn till.

### 6.2.3 Estimerade värden för biogaspotential och rötrest

Det bör nämnas att metanpotentialen som använts i rapporten visar det maximala utbytet som kan erhållas under optimala omständigheter. Vid kontinuerlig drift ligger utbytet något lägre än det angivna värdet. Vid kontinuerlig drift kan det dessutom bli problem med den långvariga stabiliteten i bioreaktorn. Båda dessa punkter borde undersökas vidare i en mer omfattande rapport.

I stycke 3.2.4 beräknades effekterna av att återföra näringsämnen från rötammaren till jordbruk. De värden som antogs är för sorterat organiskt avfall, inte kaffesump, vilket är en estimering. Mer exakta värden för kaffesump är att önska om studien ska utvidgas.

## 6.3 Förslag till framtida studier

### 6.3.1 Installation av avfallskvarn

Ett viktigt första steg i en framtida studie är att undersöka möjligheten att installera en avfallskvarn då det har stor inverkan på resultatet.

Dialog med en handledare på Coor gav att det i dagsläget inte finns möjlighet att installera en disperator på grund av platsbrist. Om en kvarn inte installeras är scenariot med Henriksdal svårgenomfört, då det skulle innebära stora förändringar för personalen på Ericsson som skulle behöva tömma säckarna och späda ut kaffesumpen för hand. Dessutom behövs det i så fall ändå installeras en tank eller kärl.

Att personalen skulle sköta allt jobb manuellt är osannolikt och fallet Henriksdals avloppsreningsverk är orimligt utan att en kvarn installeras. Om det i framtiden blir möjligt att installera en avfallskvarn så kommer fallet med Henriksdals vara billigare i transport- och mottagningskostnader än de andra två fallen. Om avfallskvarnen antas kosta 300 000 kr så kommer den enbart på kaffesumpen bli lönsam efter 17 år, jämfört med om kaffesumpen körs till Himmerfjärdsverket.

### **6.3.2 Övrigt organiskt avfall**

Som avgränsning valdes att endast fokusera på kaffesumpen från Ericsson, även om det i själva verket också finns stora mängder sorterat biologiskt avfall från restauranger. Om studien ska utvidgas borde nästa steg täcka allt sorterat biologiskt avfall då det finns mycket att tjäna på att samordna det organiska avfallet med kaffesumpen. I rapporten antas att restaurangavfalllets transporter inte minskas då kaffesumpen skickas till andra anläggningar utan att det är ett fast antal körningar. Sumpens transport innebär ytterligare körningar.

Samordnas transporterna kan antalet körningar minskas och kostnaden bli mindre. Även utsläppen från transporter kommer minska. Det kan dock bli en ökad kostnad att lämna av avfallet, beroende på vilken anläggning som tillfrågas.

Om ytterligare biologiskt avfall ska skickas till rötning blir det mer motiverat att installera en avfallskvarn. Avfallshanteringen blir enklare om allt biologiskt avfall kan läggas i samma kärl, istället för att skilja på kaffesump och matavfall som det sker idag.

### **6.3.3 Hämmande ämnen i biogasreaktorn**

I röttningsprocessen finns aspekter som kan behöva undersökas vidare i en mer omfattande undersökning. Kaffesump innehåller till exempel tannin och koffein som båda har en hämmande effekt på nedbrytningsprocessen. En framtida undersökning borde undersöka hur hög koncentration av kaffesump som kan tillåtas i en biogasreaktor utan att processen blir lidande, och ifall det kommer behövas en viss biologisk avgiftning av kaffesumpen.

### **6.3.4 Alternativa drivmedel**

I rapporten valdes som avgränsning att endast fokusera på att göra biogas. Biogas är dock inte det enda alternativet när det gäller att göra drivmedel från kaffesumpen – det går även att göra biodiesel. En studie från universitetet i Nevada visat att det är fullt möjligt att extrahera olja från kaffesumpen och sedan trans-esterifiera oljan till biodiesel. Biodiesel från kaffesumpen visade sig vara en fullgod ersättare till fossil diesel och det går att återföra näringsämnen till jordbruk från det som återstår av kaffesumpen efter oljeuttaget (Kondamudi et al, 2008). Effekterna av att producera biodiesel av kaffesumpen borde undersökas vidare om studien ska utökas.

### **6.3.5 Juridiska frågor**

Ett antagande som gjorts i rapporten är att Stockholms stad godkänner att kaffesumpen skickas till en annan anläggning än vad som gäller idag. Detta är inte nödvändigtvis sant, och dialog bör därför föras med Stockholm stad ifall något av fallen blir aktuellt. Att diskutera med Stockholms stad blir ännu viktigare om studien utvidgas till att omfatta organiskt avfall från restaurangerna.

## 7 Slutsats

Frågeställningen i början av rapporten löd *"Finns det någon miljönytta i att göra biogas av kaffesumpen istället för att förbränna den? Om svaret är ja blir följdfrågan om det är ekonomiskt lönsamt eller i alla fall försvarbart att röta istället för att bränna."*

På första frågan blir svaret ja. Det finns miljönytta i att göra biogas av kaffesumpen istället för att röta den. Ser man på koldioxidutsläppen så kommer samtliga tre undersökta fall minska utsläppen jämfört med nuläget. Allra mest minskar utsläppen då sumpen skickas till Henriksdals avloppsreningsverk – det innebär en minskning av utsläppen med 15,1 ton CO<sub>2</sub>. Även fallen Himmerfjärdsverket och Uppsala biogasanläggning ger en positiv miljöpåverkan då de minskar koldioxidutsläppen med 13,8 respektive 13,7 ton.

För de 60 ton oanvänt kaffe som levereras till Ericsson går det att i slutändan minska utsläppen med runt 14 ton CO<sub>2</sub>-ekv, vilket motsvarar 236 kg CO<sub>2</sub>-ekv / ton oanvänt kaffe. I inledningen nämndes Löfbergs Lila vilja att minska koldioxidutsläppen för sin verksamhet i Sverige och genomförs detta projekt kan utsläppen minska med 236 kg CO<sub>2</sub>-ekv för varje ton oanvänt kaffe som levereras till Ericsson i Kista.

De tre undersökta biogasanläggningarna återför rötresterna från biogasreaktorn till skogs- och åkermark. På så vis återförs flera viktiga näringsämnen till marken och behovet av handelsgödsel minskar. Om kaffesumpen istället förbränns så kommer delar av den resulterande askan användas som fyllningsmaterial, och andra delar kommer läggas på deponi för farligt avfall. Ur ett näringsåterförselsperspektiv ger biogasproduktion ökad miljönytta.

Biogaspotentialen hos kaffesumpen är 16623 Nm<sup>3</sup>, eller motsvarande 6,5 bilars årsförbrukning. Energin i biogasen är 162,9 MWh. Förbränning av kaffesumpen ger upphov till 343,6 MWh – mer än dubbelt så mycket som hos biogasen – men är av låg kvalitet. Exergiinnehållet i fjärrvärmesystemet är 103,1 MWh medan exergin i biogasen är 141,6 MWh, så även där finns en nytta – det går att utföra ett större arbete med biogasen.

Följdfrågan i inledningen var ifall det är lönsamt att röta kaffesumpen istället för att bränna den. Där är svaret nej, samtliga fall kommer innebära ökade kostnader för Ericsson. Fallet med Henriksdals avloppsreningsverk kommer kosta 72 000 kr per år vilket ger att priset för att minska växthusgasutsläppen blir 4,8 kr / kg CO<sub>2</sub>-ekv. Fallet med Himmerfjärdsverket kommer öka kostnaderna med 74 000 kr per år, vilket motsvarar 5,4 kr / kg CO<sub>2</sub>-ekv. Uppsala biogasanläggning kommer innebära en ökning med 107 000 kr per år, eller 7,8 kr / kg CO<sub>2</sub>-ekv.

Det kan jämföras med åtgärder inom kraft- och fjärrvärmebranschen där kostnaden för åtgärder ligger mellan -0,8 kr / kg CO<sub>2</sub>-ekv (dvs. en intäkt) och 2,8 kr / kg CO<sub>2</sub>-ekv (Särnholm, 2005), eller med klimatvinster för insatser på deponigasanläggningar som kostar mellan 1 och 10 kr / kg CO<sub>2</sub>-ekv (Avfall Sverige, 2013). Jämförs kostnadseffektiviteten för insatsen hos Ericsson med andra utsläppsreducerande metoder, visas det att insatsen hos Ericsson är ett dyrt sätt att reducera koldioxidutsläpp.

Slutligen var frågan vilket fall som ger minst miljöpåverkan och lägst kostnad. Henriksdals avloppsreningsverk ger störst miljönytta, men det bygger på att en kvarn installeras. Himmerfjärdsverket ger samma miljöpåverkan som Uppsala, men är billigare. Uppsala

biogasanläggning är det dyraste alternativet och ger minst miljönytta. Dock transporteras kaffesumpen i nuläget till en fjärrvärmeanläggning nära Uppsala biogasanläggning och om det går att samordna transporterna av kaffesump med övrigt organiskt avfall så kan förutsättningarna ändras.

## 8 Referenser/Källor

Ahlgren et al, 2009: *Greenhouse gas emissions from cultivation of agricultural crops for biofuels and production of biogas from manure.*

Ahlgren et al, 2010: *Ammonium nitrate fertiliser production based on biomass - environmental effects from a life cycle perspective.*

Alvarez, 2010: *Energiteknik* ISBN 91-44-04509-3

Andersson, 2006: *Mineralgödsel – energimässigt uthålligt?* Yara AB ISSN 0346-4989

Avfall Sverige, 2011: Rapport U2011:03 – *Biogödsselförädling - Tekniker och leverantörer.* ISSN 1103-4092

Avfall Sverige, 2012: *Ökad import av avfall.* Hemsida tillgänglig på:  
<http://www.avfallsverige.se/nyhetsarkiv/nyhetsvisning/artikel/-145d19373a/> (Besökt 2013-11-17)

Avfall Sverige, 2013: *Metanoxidation deponier.* Hemsida tillgänglig på:  
<http://www.avfallsverige.se/avfallshantering/deponering/deponigas/metanoxidation-paa-deponier/finansiering/> (Besökt 2013-11-21)

Berglund & Börjesson, 2003: *Energianalys av biogassystem.* Lunds tekniska högskola, Rapport nummer 44.

Berglund, 2012: *Klimatavtryck och energibalans för energiväxtföljden i Falköping.*

Biogasportalen, 2011. *Torv.* Hemsida tillgänglig på:  
<http://www.bioenergiportalen.se/?p=1504&m=975> (Besökt 2013-10-21)

Börjesson, 2003: *Energianalys av drivmedel från spannmål och vall.*

Carlsson, & Uldal, 2009: *Substrathandbok för biogasproduktion.* Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 200.

Dahlberg, 2010: *Biogödsselförädling – Tekniker och leverantörer.* Svenskt Gastekniskt Center Rapport SGC 221.

Dinsdale et al, 1995: *The mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of coffee waste containing coffee grounds.* University of Glamorgan.

Djurdjevic, & Axelsson, 2008: *Miljö- och hållbarhetsredovisning. En genomgång av Löfbergs Lila AB.* Tillgänglig online: <http://lnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:208273> (Besökt 2013-05-30).

Energimyndigheten, 2013. *Om elcertifikatsystemet.* Hemsida tillgänglig på:  
<http://energimyndigheten.se/Foretag/Elcertifikat/Om-elcertifikatsystemet/> (Besökt 2013-10-21)

Europeiska kommissionen, 1997: *White paper - energy for the future: renewable sources of energy,*

Europeiska kommissionen, 2000a: *Green paper - towards a European strategy for the security of energy supply.*

Fitch, & Stevenson, 1986: *Solid/Liquid Separation Equipment Scale-up*, D. B. Purchas and R. J. Wakeman, eds., Uplands Press and Filtration Specialists, London.

FN:s klimatpanel (UNFCCC): *Global Warming Potentials*. Tillgänglig online på [http://unfccc.int/ghg\\_data/items/3825.php](http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php) (Besökt 2013-10-14)

Gode et al, 2011: *Miljöfaktaboken, Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Värmeforsk, Anläggning och förbränningsteknik.

Henriksdals avloppsreningsverk, 2013: *Henriksdals avloppreningsverk för stockholmarnas bästa*. Tillgänglig online på: [http://www.stockholmvatten.se/commondata/infomaterial/Avlopp/henriksdal\\_webb.pdf](http://www.stockholmvatten.se/commondata/infomaterial/Avlopp/henriksdal_webb.pdf) (Besök 2013-06-06)

Kondamudi et al 2008: *Spent Coffee Grounds as a Versatile Source of Green Energy*. American Chemical Society, University of Nevada.

Kovac, 2013: *Uppgradering av biogas i systemperspektiv med avseende på miljöpåverkan och kostnader*.

Lantz, 2013: *Biogas in Sweden: Opportunities and challenges from a systems perspective*.

Lantz et al, 2006: *The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden – Incentives, barriers and potentials*.

Lehtikangas, 1999: *Lagringshandbok för trädbänslen*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala

Litorell & Lovén Persson, 2007: *Produktion av biogas från fjäderfä gödsel – Slutrapport* Fjäderfäcentrum.

Löfbergs Lila, 2013: *Årsredovisning med hållbarhetsredovisning 2011/2012*. Tillgänglig online på [http://www.lofbergs.se/PageFiles/4326/ab\\_anders\\_lofberg\\_arsred\\_2011-12.pdf](http://www.lofbergs.se/PageFiles/4326/ab_anders_lofberg_arsred_2011-12.pdf) (besök 2013-06-06)

NTM, 2013: *Metod för beräkning av gods & logistik*. Tillgänglig online på: <http://www.ntmcalc.se/index.html> (kräver medlemskap).

Pandey et al, 2000: *Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses*. Biochemical Engineering Journal.

Regeringskansliet, 2012. *EU:s klimatarbete*. Hemsida tillgänglig på: <http://www.regeringen.se/sb/d/8857> (Besökt 2013-10-24)

REVAQ, 2012: *Regler för certifieringssystemet*. Tillgänglig online på: [http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Avlopp%20och%20milj%C3%B6/REVAQ/REVAQ-regler\\_2013.pdf](http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Avlopp%20och%20milj%C3%B6/REVAQ/REVAQ-regler_2013.pdf) (Besök 2013-10-28)

Sokhansanj, 2011: *The effect of moisture on heating values*. Tillgänglig online på: [http://cta.ornl.gov/bedb/appendix\\_a/The\\_Effect\\_of\\_Moisture\\_on\\_Heating\\_Values.pdf](http://cta.ornl.gov/bedb/appendix_a/The_Effect_of_Moisture_on_Heating_Values.pdf) (Besökt 2013-02-20).

Strömberg, & Herstad Svärd, 2012: *Bränslehandboken 2012*, Värmeforsk. ISSN 1653-1248

Svea Hovrätt, 2013: Mark- och Miljööverdomstolens protokoll, tillgängligt online på [http://www.altasjon.nu/miljoprovning/130108\\_MM0D\\_provningstillstand.pdf](http://www.altasjon.nu/miljoprovning/130108_MM0D_provningstillstand.pdf)

Swedish Biogas, 2013: Hemsida tillgänglig på; <http://www.swedishbiogas.com/index.php/sv/referensanlaeggningar/sverige/skarpnaeck> (besökt 2013-05-30).

SYVAB, 2013: *Biomull*. Tillgänglig på <http://www.syvab.se/himmerfjardsverket/biomull> (Besökt 2013-06-06).

Särnholm, 2005: *Åtgärdskostnader för minskning av koldioxidutsläpp vid svenska kraftvärme- och värmelanläggningar*. IVL Svenska Miljöinstitutet.

Uppsala Vatten 2011: *Miljörapport 2011, Biogasanläggningen vid Kungsängens gård i Uppsala*. Tillgänglig online på: [http://www.uppsalavatten.se/Documents/Gemensam/Milj%C3%B6rapporter/2011\\_Miljorapport\\_Biogasanlaggning.pdf](http://www.uppsalavatten.se/Documents/Gemensam/Milj%C3%B6rapporter/2011_Miljorapport_Biogasanlaggning.pdf) (Besökt 2013-06-06).

Vattenfall värme, 2011: *Miljöredovisning Uppsala 2011*. Tillgänglig online på: [http://www.vattenfall.se/sv/file/Milj\\_redovisning-Uppsala-2011.pdf\\_13795250.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/Milj_redovisning-Uppsala-2011.pdf_13795250.pdf) (Besökt 2013-06-06).

Vattenfall Värme, Uppsala, 2012: *Miljöredovisning Uppsala 2012*. Tillgänglig online på: [http://www.vattenfall.se/sv/file/miljoredovisning\\_Uppsala\\_2012\\_3.25\\_MB.pdf\\_30315437.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/miljoredovisning_Uppsala_2012_3.25_MB.pdf_30315437.pdf) (Besökt 2013-06-06).

Vattenfall värme, Uppsala, 2013: *Miljöfakta för uppsala 2013*. Tillgänglig online på: <http://www.vattenfall.se/sv/miljofakta-i-uppsala.htm> (Besökt 2013-06-06).

Vattenfall, 2012: *Livscykelanalys. Vattenfalls energiproduktion i Norden*. Tillgänglig på: [http://www.vattenfall.com/en/file/Livscykelanalys\\_-\\_Vattenfalls\\_elproduktion\\_i\\_Norden\\_11336961.pdf](http://www.vattenfall.com/en/file/Livscykelanalys_-_Vattenfalls_elproduktion_i_Norden_11336961.pdf) (Besökt 2013-10-23)

Wall, 1992: *Exergi, Helhetssyn och intelligens – En tillämpning på Västerås*. Tillgänglig online på: <http://www.exergy.se/ftp/exvasteras.pdf> (Besökt 2013-02-26).

Wall, 1993: *Exergilära – handledning för självstudier*. Egen utgivning.

## Personlig kontakt

Johanna Andersson  
Business Development Manager, Coor Service Management

Anders Aronsson  
Affärsutvecklare, SYVAB  
Mailkonversation 2013-01-23

Andreas Carlsson  
Biogasingenjör, Henriksdals avloppsreningsverk  
Mailkonversation 2013-01-23

Anna Karlsson  
Miljöspecialist, Vattenfall Värme i Uppsala  
Mailkonversation 2013-04-24

Per Marcus  
Key Account Manager. Löfbergs Lila  
Diskussion, 2012

Lennart Nordin  
Sektionschef, Uppsala vatten  
Mailkonversation 2013-03-04

Åsa B. Rensvik  
Utvecklingsingenjör för biologisk behandling på SRV  
Mailkonversation 2013-02-25

Andreas Thunberg  
Processchef, Käppalaförbundet  
Mailkonversation 2013-01-28



## Bilagor

### Bilaga 1 Övriga definitioner

#### Bilaga 1.1 Biogas- och metanutbyte

Biogasutbyte är ett mått på kvalitet hos den producerade biogasen och beskriver hur stor del metan biogasen består av.

Biogasutbytet bestäms av andelen torrsubstans, andelen organiskt material i torrsubstansen, organiska materialets sammansättning, samt substratets nedbrytbarhet (Litorell, O. & Lovén Persson, A. 2007)

Denna rapport använder värden på biogasutbytet för kaffesump från Carlsson, M. & Uldal, M. 2009: *Substrathandbok för biogasproduktion*

Enhet [%]

#### Bilaga 1.2 Askhalt

Utöver fukt och brännbar substans innehåller kaffesumpen även aska, en restprodukt som ej är förbränningsbar. I rapporten används förkortningen AC från engelskans *Ash Content*. Askhalten bestäms laborativt. Se laborativ del.

Enhet [%]

#### Bilaga 1.3 Exergi

Exergi beskriver kvaliteten hos olika energislag med hjälp av en så kallad kvalitetsfaktor. För mer genomgående beskrivning av begreppet exergi, se kapitel (3.2.5).

För fjärrvärme och annan värme beräknas exergin

$$E_w = \frac{T - T_o}{T}$$

där T är temperaturen i K och  $T_o$  är omgivningens temperatur.

Enhet [kWh]

## Bilaga 2 Laborationer

### Bilaga 2.1 Fukthalt och TS-halt

30 kaffesumpprover och uträkningen för torrsubstans och fukthalt.

Prov nr	Fukthalt							
	Koppvikt [g]	Totalvikt [g]	Sumpvikt	TS [g]	MC [g]	TS-halt [%]	Fukthalt [%]	VS-halt [%]
1	0,94	17,09	16,15	9,15	7	56,65634675	43,34365325	52,12383901
2	0,95	20,8	19,85	11,06	8,79	55,71788413	44,28211587	51,2604534
3	0,96	20,95	19,99	12,23	7,76	61,1805903	38,8194097	56,28614307
4	0,96	15,98	15,02	9,15	5,87	60,91877497	39,08122503	56,04527297
5	0,95	11,4	10,45	6,19	4,26	59,23444976	40,76555024	54,49569378
6	0,94	11,68	10,74	6,45	4,29	60,05586592	39,94413408	55,25139665
7	0,94	13,03	12,09	7,24	4,85	59,88420182	40,11579818	55,09346567
8	0,94	12,37	11,43	6,77	4,66	59,23009624	40,76990376	54,49168854
9	0,95	9,75	8,80	5,53	3,27	62,84090909	37,15909091	57,81363636
10	0,95	13,07	12,12	7,84	4,28	64,68646865	35,31353135	59,51155116
11	0,93	11,83	10,9	6,6	4,3	60,55045872	39,44954128	55,70642202
12	0,94	11,18	10,24	6,21	4,03	60,64453125	39,35546875	55,79296875
13	0,95	13,36	12,41	7,41	5	59,70991136	40,29008864	54,93311845
14	0,96	12,01	11,05	7,3	3,75	66,06334842	33,93665158	60,77828054
15	0,95	18,75	17,8	10,99	6,81	61,74157303	38,25842697	56,80224719
16	0,93	9,8	8,87	5,56	3,31	62,6832018	37,3167982	57,66854566
17	0,93	14,94	14,01	8,1	5,91	57,81584582	42,18415418	53,19057816
18	0,95	9,42	8,47	5,34	3,13	63,04604486	36,95395514	58,00236128
19	0,95	14,5	13,55	8,33	5,22	61,47601476	38,52398524	56,55793358
20	0,95	15,35	14,4	8,91	5,49	61,875	38,125	56,925
21	0,95	15,48	14,53	8,42	6,11	57,94907089	42,05092911	53,31314522
22	0,96	11,43	10,47	6,29	4,18	60,07640879	39,92359121	55,27029608
23	0,94	15,93	14,99	8,75	6,24	58,37224817	41,62775183	53,70246831
24	0,97	18,88	17,91	10,33	7,58	57,67727527	42,32272473	53,06309324
25	0,97	16,12	15,15	9,49	5,66	62,64026403	37,35973597	57,6290429
26	0,96	15,12	14,16	8,38	5,78	59,18079096	40,81920904	54,44632768
27	0,95	13,21	12,26	7,26	5	59,21696574	40,78303426	54,47960848
28	0,95	15,7	14,75	8,55	6,2	57,96610169	42,03389831	53,32881356
29	0,94	22,27	21,33	11,93	9,4	55,93061416	44,06938584	51,45616503
30	0,94	20,15	19,21	11,87	7,34	61,79073399	38,20926601	56,84747527
Medel:						60,22706638	39,77293362	

## Bilaga 2.2 Biogaspotentialen hos kaffesumpen

Biogaspotential					
Prov nr	TS-Halt	Ton VS	Nm3 biogas	Energi i biogasen [MWh]	Exergi i biogasen [MWh]
1	56,65634675	52,12384	15637,1517	153,2440867	145,5818824
2	55,71788413	51,26045	15378,13602	150,705733	143,1704463
3	61,1805903	56,28614	16885,84292	165,4812606	157,2071976
4	60,91877497	56,04527	16813,58189	164,7731025	156,5344474
5	59,23444976	54,49569	16348,70813	160,2173397	152,2064727
6	60,05586592	55,2514	16575,41899	162,4391061	154,3171508
7	59,88420182	55,09347	16528,0397	161,9747891	153,8760496
8	59,23009624	54,49169	16347,50656	160,2055643	152,1952861
9	62,84090909	57,81364	17344,09091	169,9720909	161,4734864
10	64,68646865	59,51155	17853,46535	174,9639604	166,2157624
11	60,55045872	55,70642	16711,92661	163,7768807	155,5880367
12	60,64453125	55,79297	16737,89063	164,0313281	155,8297617
13	59,70991136	54,93312	16479,93554	161,5033683	153,4281998
14	66,06334842	60,77828	18233,48416	178,6881448	169,7537376
15	61,74157303	56,80225	17040,67416	166,9986067	158,6486764
16	62,6832018	57,66855	17300,5637	169,5455242	161,068248
17	57,81584582	53,19058	15957,17345	156,3802998	148,5612848
18	63,04604486	58,00236	17400,70838	170,5269421	162,000595
19	61,47601476	56,55793	16967,38007	166,2803247	157,9663085
20	61,875	56,925	17077,5	167,3595	158,991525
21	57,94907089	53,31315	15993,94357	156,7406469	148,9036146
22	60,07640879	55,2703	16581,08883	162,4946705	154,369937
23	58,37224817	53,70247	16110,74049	157,8852568	149,990994
24	57,67727527	53,06309	15918,92797	156,0054941	148,2052194
25	62,64026403	57,62904	17288,71287	169,4293861	160,9579168
26	59,18079096	54,44633	16333,89831	160,0722034	152,0685932
27	59,21696574	54,47961	16343,88254	160,1700489	152,1615465
28	57,96610169	53,32881	15998,64407	156,7867119	148,9473763
29	55,93061416	51,45617	15436,84951	151,2811252	143,7170689
30	61,79073399	56,84748	17054,24258	167,1315773	158,7749984
Medel:	60,22706638	55,4089	16622,67032 [Nm3]	162,9021691 [MWh]	154,7570607 [MWh]

## Bilaga 2.3 Lagring en vecka

Fukthalt över en vecka					
Dag	Punkt 1, Ytlig	Punkt 2, Sida	Punkt 3, Djup	Punkt 4, botten	Punkt 5, Säck 2
0	43,34365325	44,28211587	38,8194097	39,08122503	40,76555024
1	39,94413408	40,11579818	40,76990376	37,15909091	35,31353135
2	39,44954128	39,35546875	40,29008864	33,93665158	38,25842697
5	37,3167982	42,18415418	36,95395514	38,52398524	38,125
6	42,05092911	39,92359121	41,62775183	42,32272473	37,35973597
7	40,81920904	40,78303426	42,03389831	44,06938584	38,20926601
Medelvärde	40,48737749	41,10736041	40,08250123	39,18217722	38,00525176

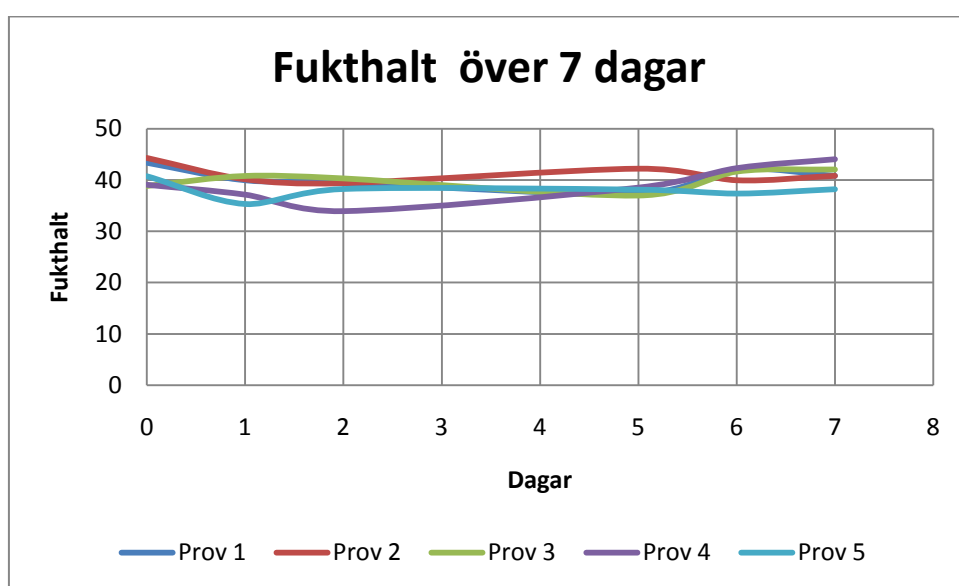


Bild 2. Fukthaltens förändring under en veckas lagring.

## Bilaga 3 Beräkningar

### Bilaga 3.1 Kalorimetriskt värmevärde

Förbränningsproverna utfördes i två separata försök, enligt metodkapitlet.

Vid första försöket togs fyra prover från olika maskiner. Resultaten för det kalorimetriska värmevärdet (HHV) blev:

Prov	n1	n2	HHV medel	
1	24,4366	24,2798	24,3582	[MJ/kg]
2	24,2016	24,1723	24,18695	[MJ/kg]
3	23,7761	23,8641	23,8201	[MJ/kg]
4	24,1164	24,1042	24,1103	[MJ/kg]

I andra försöket hade kaffesump från flera maskiner lagts ihop i en säck och prover togs från fem olika punkter i säcken under en vecka. Tre av provpunkterna testades för värmevärdet, innan och efter lagring:

Prov	n1	n2	HHV medel	
1	23,0165	23,0052	23,01085	[MJ/kg]
2	22,9838	23,0425	23,01315	[MJ/kg]
3	22,9952	23,0561	23,02565	[MJ/kg]
26	22,7996	22,7721	22,78585	[MJ/kg]
27	22,8591	22,8212	22,84015	[MJ/kg]
28	22,7698	22,7757	22,77275	[MJ/kg]

Att värmevärdet skiljer sig beror på sumpen bryts ned under lagring. Det syns att energiinnehållet i kaffesumpen har minskat med nära 1 % under en veckas lagring.

### Bilaga 3.2 Värmemängd och exergiinnehåll

Då resultaten från laborationerna sätts in i Excel nås följande resultat:

Förbränningsentalpi för kaffesumpen								
Prov	n1	n2	HHV medel		Fukthalt	TS-halt	LHV	
1	23,0165	23,0052	23,01085	[MJ/kg]	43,34365	56,65635	11,97649	[MJ/kg]
2	22,9838	23,0425	23,01315	[MJ/kg]	44,28212	55,71788	11,73886	[MJ/kg]
3	22,9952	23,0561	23,02565	[MJ/kg]	38,81941	61,18059	13,13732	[MJ/kg]
26	22,7996	22,7721	22,78585	[MJ/kg]	40,81921	59,18079	12,486	[MJ/kg]
27	22,8591	22,8212	22,84015	[MJ/kg]	40,1158	59,8842	12,69601	[MJ/kg]
28	22,7698	22,7757	22,77275	[MJ/kg]	42,0339	57,9661	12,17191	[MJ/kg]
	LHV [MWh/ton]		För 100 ton		Exergi, kvalitetsfaktor 0,3			
1	3,326802	[MWh/ton]	332,6802	[MWh]	99,80406	[MWh]		
2	3,260794	[MWh/ton]	326,0794	[MWh]	97,82381	[MWh]		
3	3,649255	[MWh/ton]	364,9255	[MWh]	109,4776	[MWh]		
26	3,468333	[MWh/ton]	346,8333	[MWh]	104,05	[MWh]		
27	3,526669	[MWh/ton]	352,6669	[MWh]	105,8001	[MWh]		
28	3,381085	[MWh/ton]	338,1085	[MWh]	101,4325	[MWh]		
Medel:				343,549	[MWh]	103,0647	[MWh]	

Biogasen har ett lägre energiinnehåll än fjärrvärmen från förbränning av sumpen. Jämförs däremot exergin för de olika energislagen så syns att biogasen har nästan 50 % mer exergi än fjärrvärmen.

### Bilaga 3.3 VS-halt i kaffesump

VS-halt	Prov	AC-medel	Fuktig sump [g]	Minus aska [g]	VS av TS [%]
	1	1,32939516	20,5052	19,17580484	93,51679008
	2	1,328415473	17,9498	16,62138453	92,59927424
	3	1,376723318	16,2303	14,85357668	91,51757319
	4	1,329516196	17,8764	16,5468838	92,56272966
Medel:					92,22652569

Medelvärde för den brännbara substansen i kaffesumpen. Enligt stycke 3.1.3 – metod för bestämning av VS-halet

### Bilaga 3.4 De olika fallen

Fall 1, Henriksdal	
Ökad körsträcka [km]	2496
CO2 transp + uppgrad - rötres [ton]	3,827101291
Utsläpp marginalbränsle [ton]	20,5413
Producerad biogas [Nm3]	16622,67032
Biogasen ersätter	Fossilt bränsle
Reducerade utsläpp	39,43351504
Totalt skillnad i utsläpp [ton]	-15,06511375

Fall 2, Himmersfjärdsverket	
Ökad körsträcka [km]	5824
CO2 transp + uppgrad - rötres [ton]	5,115901291
Utsläpp marginalbränsle [ton]	20,5413
Producerad biogas [Nm3]	16622,67032
Biogasen ersätter	Fossilt bränsle
Reducerade utsläpp	39,43351504
Totalt skillnad i utsläpp [ton]	-13,77631375

Fall 3, Uppsala	
Ökad körsträcka [km]	5928
CO2 transp + uppgrad - rötres [ton]	5,180201291
Utsläpp marginalbränsle [ton]	20,5413
Producerad biogas [Nm3]	16622,67032
Biogasen ersätter	Fossilt bränsle
Reducerade utsläpp [ton]	39,43351504
Totalt skillnad i utsläpp [ton]	-13,71201375

### Bilaga 3.5 Återförsel av rötrester

Ingående material	Kväve kg/ton	Fosfor kg/ton	Kalium kg/ton
Källsorterat matavfall	3,6	0,18	1,1

Om EL används	Minskad N kg/ton	Minskad P kg/ton	Energivinst MJ/ton TS	i kWh/ton	MWh/ton
Avfall rötas istället för					
Kompostering	6,7	0	300	83,34	0,08334
Förbränning	19	4	970	269,466	0,269466

Om naturgas används	Minskad N kg/ton	Minskad P kg/ton	Energivinst MJ/ton TS	GJ/ton TS
Avfall rötas istället för				
Kompostering	6,7	0	300	0,3
Förbränning	19	4	970	0,97

TS-halt sump: 0,602270664  
Total energi 58420,25439 MJ

Emissionsfaktor svensk el 22,6 kg CO<sub>2</sub>-ekv / MWh  
Emissionsfaktorn för naturgas 56,5 kg CO<sub>2</sub> / GJ bränsle

Utsläpp	CO <sub>2</sub> ekv/ton	Totalt för 100 ton
0,001883 ton CO <sub>2</sub> -ekv		0,188348 ton CO <sub>2</sub> ekv
0,00609 ton CO <sub>2</sub> -ekv		0,608993 ton CO <sub>2</sub> ekv

Reducerade utsläpp för 100 ton			
1020,849 kg CO <sub>2</sub> ekv	1,020849 ton CO <sub>2</sub> ekv		
3300,744 kg CO <sub>2</sub> ekv	3,300744 ton CO <sub>2</sub> ekv		



## Bilaga 4 MATLAB

### Bilaga 4.1 Henriksdals kod

```
clear all
%Henriksdals reningsverk på Värmdövägen, kräver mald och spädd sump
%24 km enkelt väg med tankbil, förutsätter intallation av kvarn å 300 kkr
%Tankbil med kapacitet 11 kubikmeter

%Konstanter
m=0; %Massa på sump i lager, antas starta på 0
mokn=274.7; %Ökning av massa i kg/dag
V=0; %Volym i lagret, startar på 0
t=0; %starttid
dt=1; %tidssteget i dagar
n=1; %för att stega whileloopen
k=1; %för att stega lastbilarnas schema
stot=0; %totalsträcka lastbil i km, börjar på 0
mtot=0; %Totala massan sump som genererats, i kg
Vtot=0; %Totala volymen sump, i liter

%Kostnad
totpris=0; %Totala kostnaden för transporter och installation
inst=3000000; %Kostnad för installation av disperator
kostnad=0.175; %Mottagningskostnad [kr/liter slurry]
prispermin=781/60;%Kostnad per minut transport

%Valbart
bil=7; %Hur ofta sopbilen kommer, i dagar
raa=0.66805; %densitet outspädd sump [kg/l] 0.492, utspädd sump 0.66805
[kg/l]
Vbil=11000; %Volym som tankbil tar [l]
Vokn=mokn/raa; %Volymökning per dag
s=2*24; %sträcka till anläggning 24 km, ggr 2 för returresa
transtid=2*23; %Transporttid i minuter, ggr 2 för returresa

%Utsläpp
emperkm=928; %CO2-utsläpp i gram per km, för medium-lastbil
enperkm=11.96; %Energianvändning i MJ per lastbilskilometer

%Biogas
%Fukthalt=0.4; %Fukthalt i sumpen
TShalt=0.6; %Torrsustans i sumpen innan spädning
VShalt=0.92; %Volatile solids, brännbar substans i
torrsustansen

while(t<365) %365 för antalet dagar
    t=t+dt;
    vvekt(1,n)=V; %Lagrar volymen i en vektor
    tvekt(1,n)=t; %Lagrar tiden i en vektor
    V=(V+Vokn); %Totala volymen sump i lager
    n=(n+1);
    if (t==(bil*k))
        Vtot=(Vtot+V);
        V=(V-Vbil);
        if (V<0) %Massan kan ej bli negativ
            V=0;
        end
        stot=(stot+s);
    end
end
```

```

        k=(k+1);
    end
end

k=k-1;
%Mer biogas
VS=(Vtot*raa*VShalt*TShalt)/1000;    %Ton VS
NM3=VS*300;                          %300 Nm3 per ton VS
MWh=VS*2.94;                         %Vad 1 Nm3 motsvarar i MWh
MotsvBilar=NM3/(7*365);              %Vad en bil drar per år (2500 mil)

%Mer om kostnad
avlamningskostnad=Vtot*kostnad;
transportpris=k*transtid*prispermin;
totpris=((k*transtid*prispermin)+(Vtot*kostnad)+inst);

%Plottar och siffror som ska redovisas
plot (tvekt, vvekt)
disp 'Antal körningar [st]'
disp(k)
disp 'Total sträcka [km]'
disp(stot)
disp 'Total massa sump [ton]'
disp((Vtot*raa)/1000)
disp 'Total volym sump [m^3]'
disp(Vtot/1000)
emtot=(stot*emperkm)/(10^6);          %Koldioxidutsläpp i ton
disp 'Totalt koldioxidutsläpp från lastbil [Ton]'
disp(emtot)
disp 'Transportkostnader [Tkr]'
disp(transportpris/1000)
disp 'Avlämningskostnad [Tkr]'
disp(avlamningskostnad/1000)
disp 'Total kostnad för första året [Tkr]'
disp(totpris/1000)

```

## Bilaga 4.2 Körexempel för Henriksdal

Antal körningar [st]

52

Total sträcka [km]

2496

Total massa sump [ton]

99.9908

Total volym sump [m^3]

149.6756

Totalt koldioxidutsläpp från lastbil [Ton]

2.3163

Avlämningskostnad [Tkr]

26.1932

Total kostnad för första året [Tkr]

357.3291

#### Bilaga 4.3 Kod för Himmerfjärdsverket

```
clear all
%Himmersfjärdsverket i Grödinge. Tar emot alla typer av avfall
%Antar mellantung lastbil enligt NTB Calc, 56 km enkel väg.

%Konstanter
m=0; %Massa på sump i lager, antas starta på 0
mokn=274.7; %Ökning av massa i kg/dag
t=0; %starttid
dt=1; %tidssteget i dagar
n=1; %för att stega whileloopen
k=1; %för att stega lastbilarnas schema
stot=0; %totalsträcka lastbil i km, börjar på 0
mtot=0; %Totala massan sump som genererats, i kg

%Kostnad
totpris=0; %Totala kostnaden för transporter och installation
inst=0; %Kostnad för installation av disperator
kostnad=0; %Kostnad per kubikmeter slurry
prispermin=781/60; %Kostnad per minut transport

%Valbart
bil=7; %Hur ofta sopbilen kommer, i dagar
M=7000; %Massa som lastbilen tar i kg, 7000 kg för mellanlastbil
s=2*56; %sträcka till anläggning, 56 km, ggr 2 för returresa
transtid=2*55; %Transporttid i minuter, ggr 2 för returresa

%Utsläpp
emperkm=619; %CO2-utsläpp i gram per km, för medium-lastbil
enperkm=7.98; %Energianvändning i MJ per lastbilskilometer

%Biogas
Fukthalt=0.4; %Fukthalt i sumpen
TShalt=(1-Fukthalt); %Torrsustans i sumpen
VShalt=0.92; %Volatile solids, brännbar substans i
torrsustansen

while(t<365) %365 för antalet dagar
    t=t+dt;
    mvekt(1,n)=m; %Lagrar massan i en vektor
    tvekt(1,n)=t; %Lagrar tiden i en vektor
    m=(m+mokn);
    n=(n+1);
    if (t==(bil*k))
        mtot=(mtot+m);
        %mtotvekt(1,k)=mtot;
        m=(m-M);
        if (m<0) %Massan kan ej bli negativ
            m=0;
        end
        stot=(stot+s);
        k=(k+1);
    end
end
```

```

end
end

k=k-1;
%Mer biogas
VS=(mtot*VShalt*TShalt)/1000;           %Ton VS
NM3=VS*300;                             %300 Nm3 per ton VS
MWh=VS*2.94;                            %Vad 1 Nm3 motsvarar i MWh
MotsvBilar=NM3/(7*365);                 %Vad en bil drar per år (2500 mil)

%Mer om kostnad
totpris=((k*transtid*prispermin)+(mtot*kostnad)+inst);
transportpris=k*transtid*prispermin/1000;

%Plottar och siffror som ska redovisas
mvekt=mvekt/1000;                       %För att plotta massan i ton
plot (tvekt, mvekt)
disp 'Antal körningar [st]'
disp(k)
disp 'Total sträcka [km]'
disp(stot)
disp 'Transportkostnader [Tkr]'
disp(transportpris)
disp 'Total mängd sump [kg]'
disp(mtot)
emtot=(stot*emperkm)/(10^6);             %Koldioxidutsläpp i ton
disp 'Totalt koldioxidutsläpp från lastbil [Ton]'
disp(emtot)
disp 'Total kostnad per år [Tkr]'
disp(totpris/1000)

```

#### Bilaga 4.4 Körexemepel för Himmersfjärdsverket

Antal körningar [st]

52

Total sträcka [km]

5824

Transportkostnader [Tkr]

74.4553

Total mängd sump [kg]

9.9991e+004

Totalt koldioxidutsläpp från lastbil [Ton]

3.6051

Total kostnad per år [Tkr]

74.4553

## Bilaga 4.5 Kod för Uppsala

```
clear all
%Uppsala biogasanläggning, sträcka 57 km. 781 kr per timme i
%transportkostnad. 600 kr per ton i mottagningskostnad. Antar mediumtruck,
% 7 ton maxlast

%Konstanter
m=0; %Massa på sump i lager, antas starta på 0
mokn=274.7; %Ökning av massa i kg/dag
t=0; %starttid
dt=1; %tidssteget i dagar
n=1; %för att stega whileloopen
k=1; %för att stega lastbilarnas schema
stot=0; %totalsträcka lastbil i km, börjar på 0
mtot=0; %Totala massan sump som genererats, i kg

%Kostnader
pris=0; %Kostnad för installation av disperator [kr]
prispermin=781/60; %Kostnad per minut transport [kr/min]
mottagningskostnad=0.6; %Avgift från biogasanläggningen för att ta emot
sumpen [kr/kg]

%Valbart
bil=7; %Hur ofta sopbilen kommer, i dagar
M=7000; %Massa som lastbilen tar i kg
s=2*57; %sträcka till anläggning, 57 km enkelt resa, ggr 2 för
retur
transtid=2*35; %Transporttid i minuter, ggr 2 för returresa

%Transporteffekter
emperkm=619; %CO2-utsläpp i gram per km, för medium-lastbil
enperkm=7.98; %Energianvändning i MJ per lastbilskilometer

%Biogas
Fukthalt=0.4; %Fukthalt i sumpen
TShalt=(1-Fukthalt); %Torrsustans i sumpen
VShalt=0.92; %Volatile solids, brännbar substans i
torrsustansen

while (t<365) %365 för antalet dagar
    t=t+dt;
    mvekt(1,n)=m; %Lagrar massan i en vektor
    tvekt(1,n)=t; %Lagrar tiden i en vektor
    m=(m+mokn);
    n=(n+1);
    if (t==(bil*k))
        mtot=(mtot+m);
        %mtotvekt(1,k)=mtot;
        m=(m-M);
        if (m<0) %Massan kan ej bli negativ
            m=0;
        end
        stot=(stot+s);
        k=(k+1);
    end
end

k=k-1;
```

```

%Mer biogas
VS=(mtot*VShalt*TShalt)/1000;           %Ton VS
NM3=VS*300;                             %300 Nm3 per ton VS
MWh=VS*2.94;                            %Vad 1 Nm3 motsvarar i MWh
MotsvBilar=NM3/(7*365);                 %Vad en bil drar per år (2500 mil)

%Mer om kostnad
totpris=((k*transtid*prispermin)+(mottagningskostnad*mtot)+pris);
transportpris=k*transtid*prispermin/1000;

%Plottar och siffror som ska redovisas
mvekt=mvekt/1000;                       %För att plotta massan i ton
disp('Antal körningar [st]')
disp(k)
disp('Total körsträcka [km]')
disp(stot)
disp('Transportkostnader [Tkr]')
disp(transportpris)
disp('Total mängd sump [kg]')
disp(mtot)
disp('Mottagningskostnader [Tkr]')
disp((mottagningskostnad*mtot)/1000)
emtot=(stot*emperkm)/(10^6);             %Koldioxidutsläpp i ton
disp('Totalt koldioxidutsläpp från lastbil [Ton]')
disp(emtot)
disp('Total kostnad per år [Tkr]')
disp(totpris/1000)

```

#### Bilaga 4.6 Körexempel för Uppsala

Antal körningar [st]

52

Total körsträcka [km]

5928

Transportkostnader [Tkr]

47.3807

Total mängd sump [kg]

9.9991e+004

Mottagningskostnader [Tkr]

59.9945

Totalt koldioxidutsläpp från lastbil [Ton]

3.6694

Total kostnad per år [Tkr]

107.3751

## Bilaga 5 Transporter enligt NTM

Emissioner	Gram per tkm		Gram per tkm		Gram per fordonskm		Gram per fordonskm	
	Avgasrör	LCI-data <sup>1</sup>	Totalt	Variation	Avgasrör	LCI-data	Totalt	Variation
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub> (total)	167	10	177	130% - 85%	584	35	619	130% - 85%
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub> (fossil)	167	10	177	130% - 85%	584	35	619	130% - 85%
Nitric oxides, NOX	1.36	0.03	1,39	130% - 85%	4.7	0.095	4,8	130% - 85%
Hydrocarbons, HC	0.06	0	0,06	130% - 85%	0.91	0.02	0,93	130% - 85%
Methane, CH <sub>4</sub>	0	0	0	130% - 85%	0	0	0	130% - 85%
Carbon monoxide, CO	0.26	0.01	0,27	130% - 85%	0.91	0.02	0,93	130% - 85%
Particles, PM	0.03	0	0,03	130% - 85%	0.09	0	0,09	130% - 85%
Sulphur dioxide, SO <sub>2</sub>	0	0	0	130% - 85%	0	0	0	130% - 85%
Energianvändning	MJ per tkm		MJ per tkm		MJ per fordonskm		MJ per fordonskm	
	Avgasrör	LCI-data	Totalt <sup>2</sup>	Variation	Avgasrör	LCI-data	Totalt <sup>2</sup>	Variation
Energy (renewable)								
Energy (fossil)	2.28		2,28	130% - 85%	7.98		7,98	130% - 85%
Energy (nuclear)								

Värden för mellantung lastbil enligt NTM

Emissioner	Gram per tkm		Gram per tkm		Gram per fordonskm		Gram per fordonskm	
	Avgasrör	LCI-data <sup>1</sup>	Totalt	Variation	Avgasrör	LCI-data	Totalt	Variation
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub> (total)	117	7	124	130% - 85%	875	53	928	130% - 85%
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub> (fossil)	117	7	124	130% - 85%	875	53	928	130% - 85%
Nitric oxides, NOX	0.95	0.02	0,97	130% - 85%	7.11	0.14	7,25	130% - 85%
Hydrocarbons, HC	0.04	0	0,04	130% - 85%	0.31	0.01	0,32	130% - 85%
Methane, CH <sub>4</sub>	0	0	0	130%	0.01	0	0,01	130%

				- 85%				- 85%
Carbon monoxide, CO	0.18	0	0,18	130% - 85%	1.36	0.03	1,39	130% - 85%
Particles, PM	0.02	0	0,02	130% - 85%	0.14	0	0,14	130% - 85%
Sulphur dioxide, SO <sub>2</sub>	0	0	0	130% - 85%	0	0	0	130% - 85%
<b>Energianvändning</b>	MJ per tkm		MJ per tkm		MJ per fordonskm		MJ per fordonskm	
	Avgasrör	LCI-data	Totalt <sup>2</sup>	Variation	Avgasrör	LCI-data	Totalt <sup>2</sup>	Variation
Energy (renewable)								
Energy (fossil)	1.59		1,59	130% - 85%	11.96		11,96	130% - 85%
Energy (nuclear)								

Värden för tung lastbil enligt NTM.





SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energioghteknik](http://www.slu.se/energioghteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000